



Université Sidi Mohamed Ben Abdellah
Faculté des Sciences et Techniques de Fès
Département de Génie Industriel



Mémoire de Projet de fin d'études

Préparé par

EL MOURABITI MOHAMED SALEH

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat

Spécialité : Ingénierie en Mécatronique

Intitulé

Etude critique des arrêts chauds et arrêts
froids des unités de production de l'acide
sulfurique

Lieu : ANPHI C2.
Réf : /IMT09

Soutenu le 25 Juin 2013 devant le jury :

- Pr. HASSANE BINE EL OUIDANE (Encadrant FST)



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

A mes chers parents :

« Grâce à votre tendresse, votre encouragement et vos grands sacrifices, vous avez pu créer le climat affectueux, propice à la poursuite de mes études.

Aucune dédicace ne saurait exprimer à sa juste valeur mon profond amour filial, et ma profonde reconnaissance pour tous les sacrifices, et tous les efforts que vous avez consentis pour assurer mon avenir ».

Je prie Dieu de vous bénir, de vous prêter une longue vie, et j'espère que vous serez toujours fiers de moi.

A mes frères et sœurs pour leurs respect et soutient

A tous les membres de ma famille : je vous souhaite plein de succès et beaucoup de bonheur dans votre vie.

A mes chers Encadrants: *pour leur soutien et leur aide.*

A mes enseignants : *Veillez trouver dans ce travail l'expression de ma profonde reconnaissance et ma grande estime.*





*A mes amis
d'amitié les*

Remerciements

Au terme de mon projet de fin d'études, j'exprime ma profonde gratitude à Monsieur *MOHCINE ZOUAK*, Doyen de la FST de Fès ; Monsieur *Mohammed EL HAMMOUMI*, Chef du Département de Génie Industriel; *LAHBIB HAMED*, chef de la filière d'ingénieur « Ingénierie en Mécatronique », tout le cadre administratif et professoral pour leurs efforts considérables.

Mes remerciements les plus sincères à mon encadrant Mr. *HASSAN BINE EL OUIDANE* pour son encadrement pédagogique très consistant ainsi que pour l'intérêt avec lequel il a suivi la progression de mon travail, pour ces conseils efficaces, ces judicieuses directives et pour les moyens qu'il a mis à notre disposition pour la réussite de ce travail tout au long de ma période de projet.

Mes gratitude s'adresse également à mon encadrant Mr. *BRAHIM NAIT TELHEK*, Ingénieur Maintenance Mécanique, division Produits Intermédiaires, Service Matériel, à Maroc Phosphore *JORF LASFAR*.

Nous tenons à exprimer nos profondes reconnaissances envers tout le personnel de l'atelier sulfurique pour leur accueil, et leur implication dans le recueil des informations se rendant toujours disponibles. En particulier, *M. NABIL DRAWAT, M. KAYOURAZIZ, KAMAL MOHAMED, M. EL OUARAK ABDELHALIM, M. JAJAA HASSAN, M. AISSA BELHARAGAM, YOUNES AMZOIR, M. REDA HICHAM, M. SALAMY ISMAIL, DIKER SAID, ABDELHADI NOUMANE* pour la mise à notre disposition de tous les moyens nécessaires pour la réalisation de notre travail dans les meilleures conditions, Les conseils éclairés qu'ils n'ont cessé de nous prodiguer.

Je remercie aussi toutes les équipes de l'atelier, l'équipe de la documentation et tous les agents de l'atelier sulfurique qui m'ont aidé à effectuer ce stage.





Résumé

La production de l'acide sulfurique est assurée par l'atelier sulfurique de Maroc phosphore JORF LASFAR, par 06 unités, chacune d'elle capable de produire 2650 tonnes par jour, au cours de la marche de ces installations, des perturbations peuvent avoir lieu et causent des arrêts chauds et des arrêts froids programmés ou non pour la maintenance de ces installations.

C'est dans cette optique que s'inscrit mon Projet de Fin d'Études, qui vise à bien planifier les arrêts froids, et de diminuer les arrêts à chauds. En vue d'assurer le bon fonctionnement des unités, et donc augmenter la production.

Afin de mener à bien cette mission, on a commencer par dresser un plan méthodique pour préparer et suivre un arrêt froid, puis, au niveau des arrêts à chauds, nous avons jugé utile de commencer par chercher les circuits les plus responsables des arrêts, puis détecter les composants les plus critiques de ces circuits tout en appliquant la méthode ABC. En fin, on a cherché les causes racines des pannes en appliquant pour des uns la méthode Ishikawa et la méthode AMDEC pour d'autres.

Finalement, nous avons proposé des solutions amélioratives, et nous avons présenté une étude technoéconomique des solutions proposées.

Mots clés : Arrêts chauds, Arrêts froids, Maintenance, AMDEC, ABC, ISCHIKAWA





Abstract

The production of sulfuric acid is provided by sulfuric workshop of the Morocco phosphorus JORF LASFAR, with 06 units, each of which are capable of producing 2650 tons per day, during the progress of these facilities, disturbances may occur and cause hot and cold shut downs maybe planned or maybe not for the maintenance of these facilities.

It is in this context that fits my Final Project Studies, which aims at accurately planning the cold shutdowns and reduce the hot ones. In order to ensure the smooth functioning of the units, and thus increase the production.

In order to properly carry out this mission, we began by drawing up a systematic plan to prepare and follow a cold shutdown, then, regarding hot shutdowns, we found that it is useful to start by looking for the most responsible circuits of shutdowns, thereafter identify the most critical components of these circuits while applying the ABC method. Finally, we looked for the root cause of failures by applying for some Ishikawa method, and for others the AMDEC method.

Ultimately, we proposed improvement solutions and we presented a technical economic study of proposed solutions.

Keywords: hotstops, stopscold, Maintenance, AMDEC, ABC, ISCHIKAWA





ملخص

تضم الورشة بالجرف الأصفر ست وحدات لإنتاج حمض الكبريت، تصل الطاقة الإنتاجية للوحدة منها 2650 طن يوميا، يتخلل عمل هذه الوحدات اضطرابات عديدة تتطلب توقفات ساخنة (قصيرة) أو توقفات باردة (مدتها تتعدى 36 ساعة) من أجل الصيانة.

وفي هذا النطاق يندرج مشروع نهائي الدراسة الذي يهدف إلى التخطيط المحكم للتوقفات الباردة و كذا تقليل نسبة التوقفات الساخنة لضمان العمل الجيد للوحدات و بالتالي الرفع من الإنتاج.

ولإنجاز هذا المشروع بدأنا بوضع منهجية إعداد وتتبع التوقفات الباردة، على مستوى التوقفات الساخنة، ارتأينا إلى البحث عن الدارات المسؤولة أكثر عن هذه التوقفات، بعد ذلك تطرقنا إلى البحث عن العناصر الأكثر تأثيرا بهذه الدارات مستعينين بطريقة ABC أو PARETO. وفي الأخير استعملنا طريقة ISHIKAWA للبحث عن بعض الأسباب الرئيسية للتوقفات وطريقة AMDEC للبحث عن البعض الآخر.

وفي النهاية اقترحنا حلولا عملية للحد من كثرة هاته التوقفات مع دراسة تقنية واقتصادية لهاته الحلول.





Liste des figures

Figure 1 : Organigramme et structure du Groupe OCP	17
Figure 2: L'emplacement stratégique du complexe industriel PCJ	20
Figure 3: les différents ateliers de MP III-IV	22
Figure 4: stockage du soufre liquide	24
Figure 5: schéma général de la production de l'acide sulfurique.....	25
Figure 6: schéma du convertisseur et des échangeurs	27
Figure 7: Chaudière de récupération.....	29
Figure 8: Schéma typique d'un convertisseur	30
Figure 9: les trois tours, tour de séchage, d'absorption intermédiaire et d'absorption finale	32
Figure 10: Les types de la maintenance	37
Figure 11: Cas d'un système non réparable	39
Figure 12: Mise en évidence des temps sur un système réparable	40
Figure 13: courbe montrant les zones A, B et C	43
Figure 14: diagramme Ishikawa	46
Figure 15: Procédure générale d'un arrêt froid	51
Figure 16: extrait du planning d'arrêt de l'unité 01Z rédigé sur Microsoft Project.....	55
Figure 17 : diagramme présentant le MTBF de chaque unité de production	57
Figure 18: Graphe illustrant les circuits responsables d'arrêt de l'unité 01A	59
Figure 19: différents composants qui constituent le circuit gaz	63
Figure 20: Différents composants qui constituent le circuit acide.....	66
Figure 21: la méthode des 5M pour les manchettes by-pass des refroidisseurs.....	68
Figure 22: méthode AMDEC appliquée aux tuyauteries sortie D02, R01, P01 et P02	69
Figure 23: la méthode des 5M pour des boîtes à gaz sortie des 4 masses des convertisseurs . Erreur ! Signet non défini.	
Figure 24: la méthode des 5M pour Duct sortie four vers chaudière A et B	Erreur ! Signet non défini.
Figure 25: application de la méthode des 5M pour de boîte à gaz entrée E03	Erreur ! Signet non défini.
Figure 26: à droite : les épingles. À gauche : les tubes à ailettes	71
Figure 27: Diagramme bête à corne du surchauffeur E01	72
Figure 28: Diagramme Pieuvre du surchauffeur E01	73
Figure 29: diagramme FAST du surchauffeur E01	74
Figure 30: méthode AMDEC appliquée au surchauffeur E01.....	75
Figure 31: à droite : Briques de chamotte. à gauche : la chamotte	77
Figure 32 : position du four dans l'unité de production	78
Figure 33 : briquetage en duct et ses démentions.....	78
Figure 34: La laine de roche.....	80
Figure 35: les entrées sorties de convertisseur qui demandent le calorifugeage	81





Liste des tableaux

Tableau 1: La fiche signalétique de la société OCP	19
Tableau 2: Les niveaux de maintenance.....	36
Tableau 3: tableau récapitulatif des résultats de la fiabilité des 06 unités.....	56
Tableau 4: la méthode ABC appliquée à l'unité 01A	58
Tableau 5: Tableau récapitulatif des circuits responsables de 80% des arrêts des unités	59
Tableau 6: Pourcentage du tps d'arrêt gagné pour chaque unité	61
Tableau 7: tableau résumant la méthode ABC pour le circuit gaz	64
Tableau 8: la méthode ABC appliquée pour le circuit acide	66
Tableau 9: Fonctions principales et fonctions contraintes surchauffeur E01	73
Tableau 10 : cout des investissements au niveau des circuits gaz et acide	85
Tableau 11: prix unitaire de l'acide produit , la vapeur MP et HP.....	86
Tableau 12: gain par chaque unité pendant les deux années prochaines	86

Sommaire

Dédicaces.....	2
Remerciements	3
Résumé	4
Abstract.....	5
ملخص.....	6
Liste des figures.....	7
Liste des tableaux.....	8
Introduction générale	11
Chapitre 1 :Présentation de l’office chérifien des phosphates et du pôle chimie JORF-LASFAR et description de l’Atelier Sulfurique	13
Introduction.....	13
I .Présentation de la société OCP	14
1. Historique.....	14
2. Organigramme du groupe OCP	15
3. Statut juridique de l’OCP	17
4. Fiche signalétique de l’OCP.....	18
II. Présentation du complexe Maroc phosphore III-IV JORF LASFAR.....	19
III. Procédé de fabrication de l’acide sulfurique	22
1 .Propriétés physico-chimiques d’acide sulfurique.....	22
2. Les étapes de production	23
3. Equipements de production	28
Conclusion :	34
Chapitre 2 : Etude bibliographique	35
Introduction.....	35
I. Généralités sur la maintenance	35
1. Définition.....	35
2. Les niveaux de la maintenance	36
3. Types de maintenance.....	36
4. Etude de la fiabilité des équipements	38



II. La méthode ABC	41
1. FONCTION	41
2. METHODE.....	41
III. La méthode AMDEC.....	43
IV. Diagramme d'Ishikawa.....	45
V. le brainstorming.....	46
1. Principe général du brainstorming original	46
2. Méthode :	47
Conclusion	47
Chapitre 3 : Etude critique des arrêts froids et chauds des unités sulfuriques.....	48
Introduction	48
I .Arrêts froids	48
1. Les types des arrêts froids.....	49
2. Les causes d'un arrêt froid.....	49
3 Planification de l'arrêt froid.....	51
Résultat :	55
II. Etudes des arrêts chauds	56
1. Analyse de la fiabilité des unités de production	56
2. Etude des circuits responsables des arrêts chauds	57
3. Définition des composants critiques.....	62
III.Définition des causes racines par l'application de la méthode AMDEC et la méthode d'Ishikawa...	67
1. circuit acide	67
1.1 Les manchettes by-pass des E06, E07, E08, E09	68
1.2. Tuyauterie sortie D02, R01, P01 et P02	68
2. Pour le circuit gaz.....	69
2.1 Boîtes à gaz sortie du convertisseur.....	70
2.2 Duct sortie four vers chaudière A et B	Erreur ! Signet non défini.
3. Boîte à gaz entrée E03	Erreur ! Signet non défini.
4. Surchauffeur E01	71
4.1 Performances	71





4.2 Analyse fonctionnelle	72
Chapitre 4 :Etude technoéconomique	76
I. Coût de mise en place des solutions.....	76
1. Pour le circuit gaz	77
2. circuit acide.....	83
II .Calcul du gain	85
III. Temps de retour sur investissement	86
Conclusion	87
Conclusion	87
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	88

Introduction générale

L'atelier sulfurique de Maroc phosphore JORF LASFAR regroupe 06 unités, chacune d'elle capable de produire 2650 tonnes par jour d'acide sulfurique, Au cours de la marche de ces installations, des perturbations peuvent avoir lieu et causent des arrêts chauds et des arrêts froids programmés ou non pour la maintenance de ces installations.



En plus des coûts de maintenance élevés, ces arrêts causent une chute de production de l'acide sulfurique, et parfois l'atelier n'arrive pas à satisfaire les besoins de l'atelier phosphorique.

Le procédé utilisé pour la production de l'acide sulfurique est celui à double absorption Monsanto EnviroChem (l'inventeur du procédé) et qui passe par trois réactions principales. Ces réactions sont fortement exothermiques, libèrent une quantité importante de l'énergie thermique qui est récupérée sous forme de vapeur haute pression moyennant les équipements énergétiques installés (Chaudières de récupération, Economiseurs et Surchauffeurs).

Cette vapeur est détendue dans des groupes turboalternateurs pour produire la vapeur de procédé et l'énergie électrique. Cette énergie électrique ainsi produite couvre les besoins en consommation de Maroc Phosphore III et IV.

Les arrêts

est assuré par l'

le réseau et en c

C'est dan

mécanique, sous

pour objectif de

maintenance sys

de la production.

Pour atteindre ces objectifs, on a travaillé sur 4 chapitres, le premier chapitre on a présenté l'office chérifien des phosphates et du pôle chimie JORF-LASFAR et description de l'Atelier Sulfurique et le processus de fabrication de l'acide sulfurique, le deuxième chapitre était réservé pour une étude bibliographique, on a fait une étude critique des arrêts chauds et froid en détails dans le chapitre 3, et enfin un chapitre 4 pour présenter les solutions amélioratives et leurs étude technoeconomique .





Chapitre 1 : Présentation de l'office chérifien des phosphates et du pôle

Chapitre 1

Présentation de l'office chérifien des phosphates et du pôle chimie JORF-LASFAR et description de l'Atelier Sulfurique.

Introduction

Ce chapitre comprend une brève description du Groupe Office Chérifien des Phosphates OCP, ses activités, ses positions géographiques dans le royaume, ses filiales, une présentation du complexe chimique JORF-LASFAR, et finalement une description du procédé de fabrication de l'acide sulfurique dans les unités de Maroc Phosphore III-IV.





Chapitre 1 : Présentation de l'office chérifien des phosphates et du pôle chimie JORF-LASFAR et description de l'Atelier Sulfurique

I. Présentation de la société OCP

1. Historique

Le groupe Office Chérifien des Phosphates (OCP) est un opérateur international dans le domaine de l'industrie du phosphate et des produits dérivés. Le phosphate brut extrait du sous-sol marocain est exporté tel quel ou livré aux industries chimiques du groupe à SAFI ou à JORF LASFAR pour être transformé en produits dérivés commercialisables : acide phosphorique de base, acide phosphorique purifié, engrais solides. Le groupe OCP livre aux cinq continents de la planète ; Ses exportations représentent 25 à 30% du commerce international du phosphate et ses dérivés, En effet c'est le premier exportateur et troisième producteur mondial après les Etats-Unis et l'ex-URSS.

C'est en février 1912 qu'on a découvert les premiers gisements dans la zone de KHOURIBGA et plus précisément dans la région de OULED ABDOUNE. Mais l'exploitation effective n'a commencé qu'en février 1921 dans la région d'OUED ZEM. Ce n'est qu'en 30 juin 1921 que le premier train sur voie large de 1.60 m a été chargé et dirigé vers le port de CASABLANCA. Un mois après l'exploitation a commencé par voie maritime.

En 1930 un nouveau centre de production de phosphate est ouvert à Youssoufia connu sous le nom de Louis Gentil (1931).





La méthode d'extraction en découverte à KHOURIBGA n'est mise en œuvre en 1952 suivi de la création d'un centre de formation professionnel en 1958, en renforcement des efforts menés, depuis des décennies sur ce plan ; Puis création par la suite d'autres unités de formation / perfectionnement : Ecole de maîtrise de BOUJNIBA (1965).

Chapitre 1 : Présentation de l'office chérifien des phosphates et du pôle chimie JORF-LASFAR et description de l'Atelier Sulfurique

Vers l'année 1975 l'OCP s'est organisé en groupe qui comporte l'OCP et les filiales.

Depuis lors, les besoins mondiaux en phosphates ont fait de l'OCP une entreprise qui jusqu'à nos jours n'a cessé de grandir et pour se maintenir face à la concurrence des autres pays producteurs des

phosphates et dérivés, il se modernise, se développe continuellement et s'affirme comme le leader du marché mondial des phosphates.

Ce groupe est géré par plusieurs directions coiffées par une direction générale dont le siège social est à CASABLANCA.

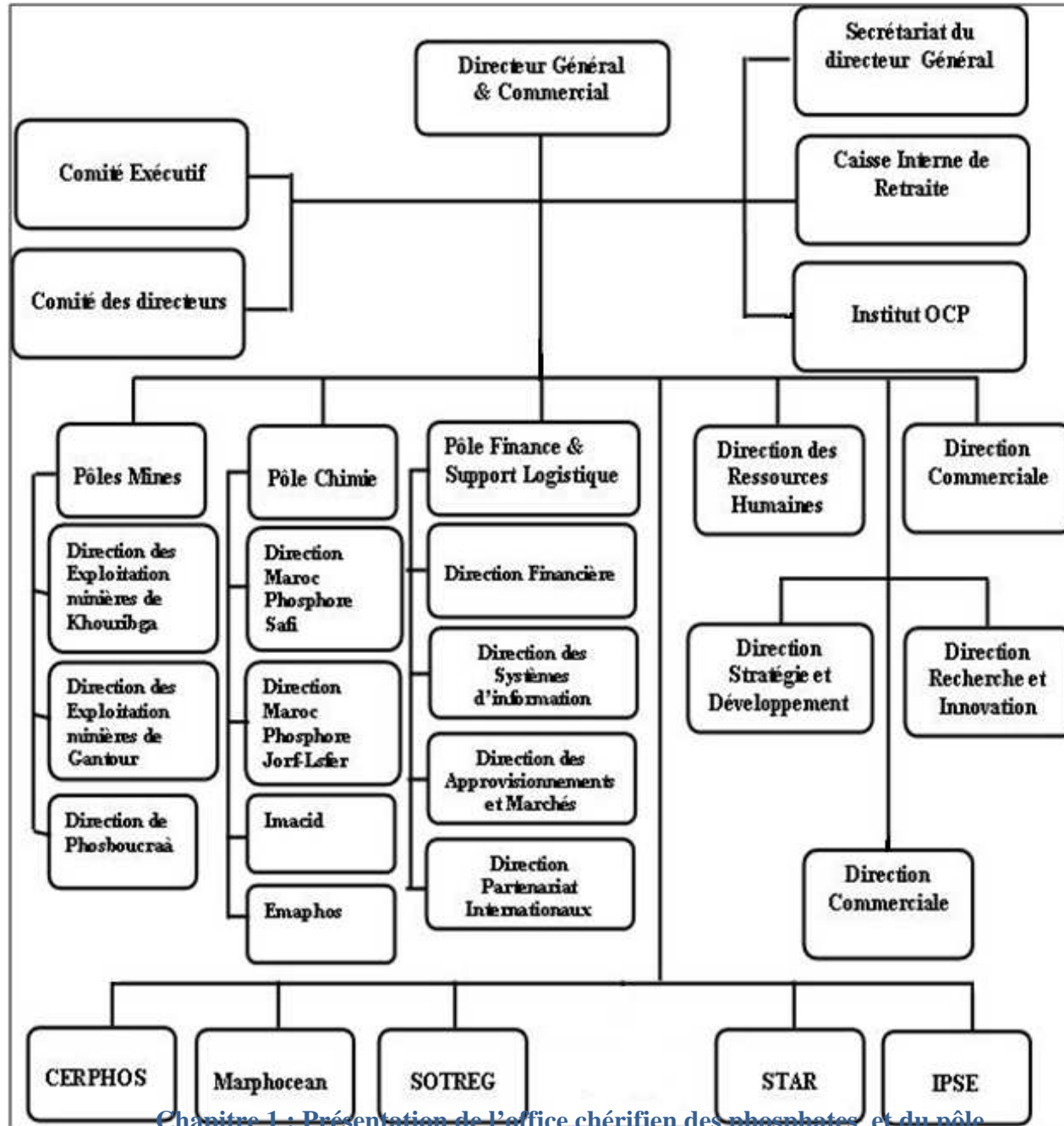
2. Organigramme du groupe OCP





Chapitre 1 : Présentation de l'office chérifien des phosphates et du pôle chimie JORF-LASFAR et description de l'Atelier Sulfurique





Chapitre 1 : Présentation de l'office chérifien des phosphates et du pôle chimie JORF-LASFAR et description de l'Atelier Sulfurique

Figure 1 : Organigramme et structure du Groupe OCP

2. Statut juridique de l'OCP

Le groupe OCP est une entreprise semi-publique sous contrôle de l'état, mais elle agit avec le même dynamisme et la même souplesse qu'une grande entreprise privée servant à l'état marocain tous





les droit de recherche et d'exploitation des phosphates, gérée par un directeur est contrôlée par un conseil d'administration présidé par le Premier ministre. La gestion financière est séparée de celle de l'état. Le groupe OCP est inscrit au registre de commerce et soumis sous le plan fiscal aux mêmes obligations que n'importe qu'elle entreprise privé (impôt sur les salaires, sur les bénéfices, taxes sur l'exportation...), et chaque année, le groupe OCP participe au budget de l'état par versement de ses dividendes.

Mission :

La mission de l'OCP peut être résumée dans les deux points suivants :

- Extraire les phosphates bruts, les traiter pour les rendre marchands et les commercialiser.
- Valoriser une partie de la production de phosphate dans les usines chimiques soit sous forme d'acide phosphorique ou sous forme d'engrais.

4. Fiche signalétique de l'OCP

Le tableau 1 illustre la fiche signalétique de la société OCP :

Chapitre 1 : Présentation de l'office chérifien des phosphates et du pôle chimie JORF-LASFAR et description de l'Atelier Sulfurique





Tableau 1: La fiche signalétique de la société OCP

Raison sociale	OCP S.A
Forme juridique	Société Anonyme
Date de fondation	1920
Capital social	7.800.000 DH
Chiffres d'affaires à l'export	6,9 milliards de dollars
Effectif	18.000
Registre de commerce	40327
Numéro de patente	36000670
Identification fiscale	701848
Téléphone	05 22 23 20 25
Adresse postale	5196 20100 Casablanca
Capacité de production	<ul style="list-style-type: none">• Production marchande de phosphate : 24,45 millions de tonnes. Production de phosphate : 27,16 millions de tonnes

II. Présentation du complexe Maroc phosphore III-IV JORF LASFAR

Dans le cadre du développement continu en matière de valorisation des phosphates, le groupe OCP a bâti en 1986 sur le site de Jorf- Lasfar à El Jadida le complexe industriel Maroc-Phosphore III-IV pour la production des acides phosphorique et sulfurique et des engrais, et par la suite le groupe a fondé d'autres unités de production en partenariat avec des groupes industriels internationaux :

- **EMAPHOS** : Euro Maroc Phosphore (33,33% OCP, 33,33% Prayon, 33,33% CFB Allemagne) qui a démarré en 1998 pour la production d'acide phosphorique purifiée.
- **IMACID** : (33% OCP, 33% Chambal Fertiliser-Inde et 33% data Chemicals Limited) qui a démarré en 1999.
- **PAKPHOS** : en partenariat avec le groupe pakistanais FAUJI qui a démarré en 2007.



- **BUNGE** : en partenariat avec le groupe brésilien Bunge FERTELIZANTES qui a démarré en 2009.

Le site JorfLasfar s'étend sur une superficie d'environ 1700 ha, à 20 km d'EL Jadida. Le choix de cet emplacement a pris en considération la position stratégique de la région.

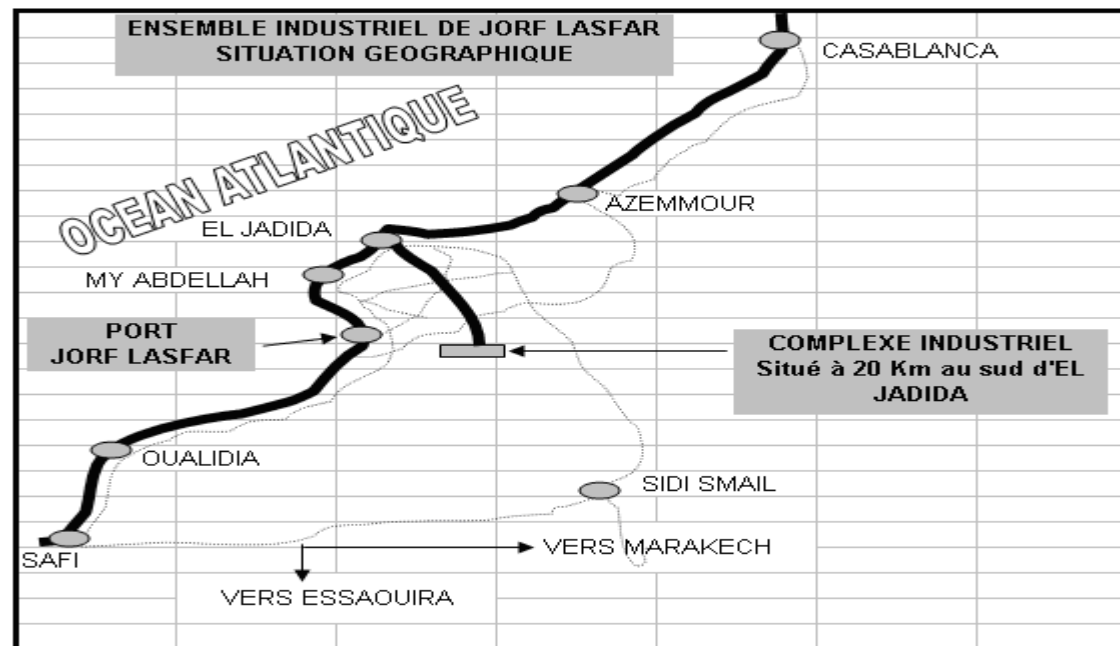


Figure 2: L'emplacement stratégique du complexe industriel PCJ

Le complexe industriel Maroc phosphore du groupe OCP est implanté à JORF LASFAR pour les raisons suivantes:

- Proximité des zones minières permet son alimentation en phosphate (Khouribga)
- Existence d'un port tirant d'eau important ;
- Disponibilité de terrains pour les extensions futures.

Ce complexe qui se situe dans une enceinte s'étendant sur 1700 ha environ, permet de produire actuellement:





- ❖ Deux millions de tonnes de P₂O₅ sous forme d'acide phosphorique et fertilisants, nécessitant la transformation d'environ ;
- 7,7 millions de tonnes de phosphate extrait des gisements de Khouribga ;
- 2 millions de tonnes de soufre ;
- 0,5 millions de tonnes d'ammoniac ;

Il a démarré en 1986, il permet de produire annuellement:

- ✚ 1,7 millions de tonnes de P₂O₅ d'acide phosphorique ;
- ✚ 1,6 millions de tonnes de phosphate ;

Maroc phosphore dispose de 5 principaux ateliers de production :

Atelier sulfurique :

L'atelier de production d'acide sulfurique de MAROC PHOSPHORE JORF LASFAR est composé de six unités de production identiques, de capacité unitaire 2650TMH/j.

L'acide sulfurique produit est destiné aux clients internes (PCJ/PA pour la production de l'acide phosphorique, PCJ/ PE pour la production des engrais, EMAPHOS, IMACID) et aux clients externes au pôle chimie JorfLasfar.

L'alimentation des clients internes (PCJ/PA, EMAPHOS, IMACID) se fait par des tuyauteries. Les clients externes sont desservis par des camions citernes.

Atelier des utilités :

Cet atelier alimente les unités de production précitées en énergie électrique, vapeur, air comprimé, eau alimentaire, eau de mer et air comprimé ... nécessaires à leurs marches.

Atelier phosphorique:

Il comprend:



- 8 lignes de broyage de phosphate.
- 8 lignes d'acide phosphorique dont 3 fonctionnant selon le procédé Rhône Poulenc et 5 selon le procédé Jorf (OCP).
- 20 échelons de concentration.

Atelier engrais:

Il se compose de quatre unités de production de DAP dont deux peuvent produire du TSP7, MAP8 et NPK9.

- Capacité pour chaque unité en DAP1 1400 tonnes /jour.
- Capacité pour chaque unité en TSP2 1100 tonnes /jour.

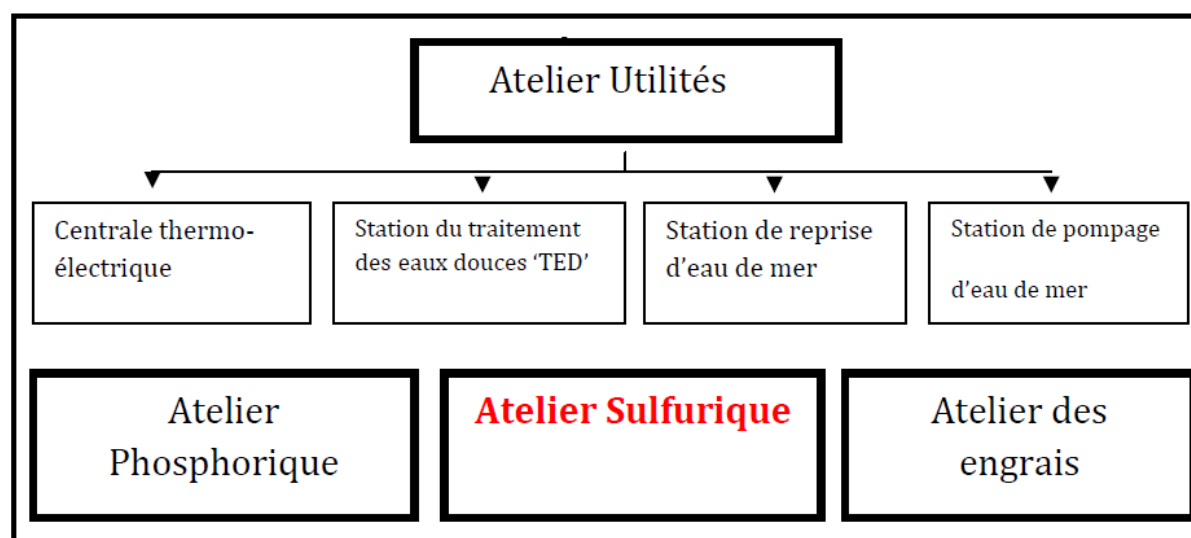


Figure 3: les différents ateliers de MP III-IV

III. Procédé de fabrication de l'acide sulfurique

1 .Propriétés physico-chimiques d'acide sulfurique

Odeur : inodore



Couleur : incolore

Aspect : Huileux et corrosif.

Point de fusion : 10.5°C

Point d'ébullition : 237 °C

Masse molaire : 98.08

Densité : 1.836

H₂SO₄ est un produit oxydant, déshydratant et Explosif en présence de l'eau.

L'acide sulfurique est considéré comme un produit intermédiaire qui est destiné aux clients internes (PCJ/PA pour la production de l'acide phosphorique, PCJ/PE pour la production des engrais, EMAPHOS, IMACID) et aux clients externes au pôle chimie JORF LASFAR.

Ce procédé est basé sur trois étapes principales, pour la transformation du soufre en acide sulfurique: la combustion du soufre dans le four, la conversion de SO₂ en SO₃ dans le convertisseur et l'absorption de SO₃ dans les tours d'absorption. Vu que ce procédé s'accompagne avec un dégagement de la chaleur, la production de la vapeur est un sous produit destiné vers la centrale sous forme de vapeur à haute pression et moyenne pression pour la production de l'électricité et de la vapeur du procédé, et une autre partie pour le fonctionnement de la turbosoufflante.

2. Les étapes de production

2.1. Combustion

Le soufre provient de l'unité 51 du port à l'état liquide. Le soufre liquide est stocké dans deux bacs de stockage. Chaque bac a une capacité de 15000 tonnes, et entouré par 12 serpents de vapeur pour maintenir le soufre à l'état liquide.

Le soufre est acheminé vers une fosse par gravité à l'aide d'une vanne régulatrice du niveau, cette fosse est alimentée par 9 pompes, une pompe pour chaque ligne de production d'acide et une pompe de réserve pour chaque deux ligne. Le soufre est ensuite refoulé vers le four où il se déroule la combustion.



Soufre liquide
Vapeur BP

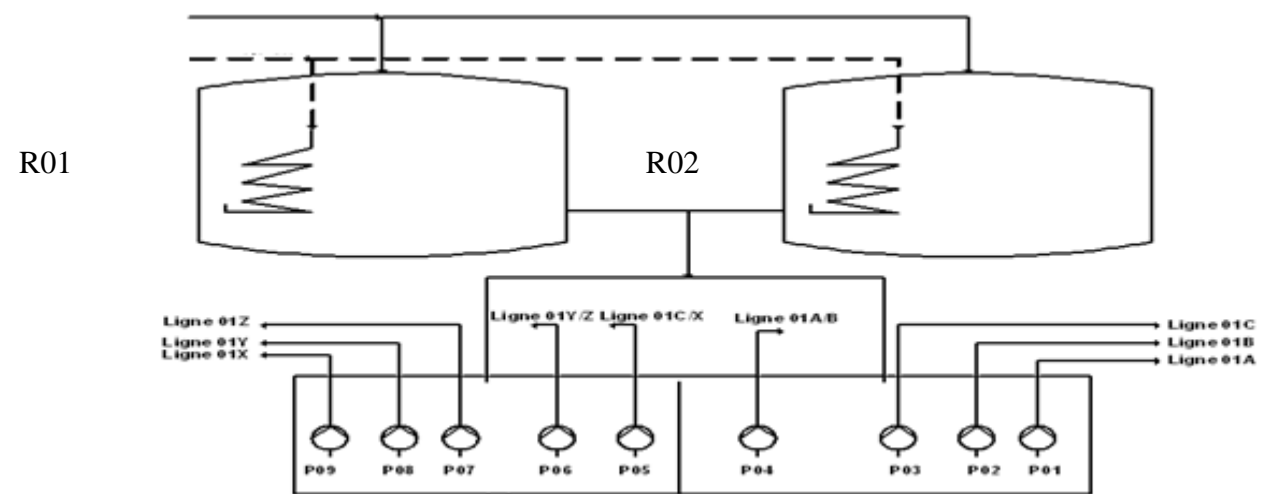
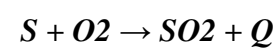


Figure 4: stockage du soufre liquide

Le soufre liquide est pompé de la fosse de pompage vers le four de combustion, dans lequel il dépasse sa température d'inflammation (400°C) et se brûle avec un excès d'air pour former le dioxyde de soufre, selon la réaction suivante :



Le mélange gazeux après combustion a une teneur de 12% en volume de SO₂.

L'air de combustion est traité avant qu'il entre dans le four, dont il subit une filtration, afin d'éliminer la poussière qui est considéré comme un poison pour le catalyseur, puis il passe dans une tour de séchage pour éliminer l'humidité, qui forme un condensat provoquant la corrosion des équipements et la détérioration du catalyseur. Puis il est propulsé vers le reste de l'unité par la soufflante.



La température du gaz à la sortie du four est plus élevée que la température nécessaire pour la conversion (420°C). En effet, les gaz sont refroidis dans deux chaudières de récupération parallèles. La température à l'entrée du convertisseur est contrôlée par une vanne de by-pass des chaudières.

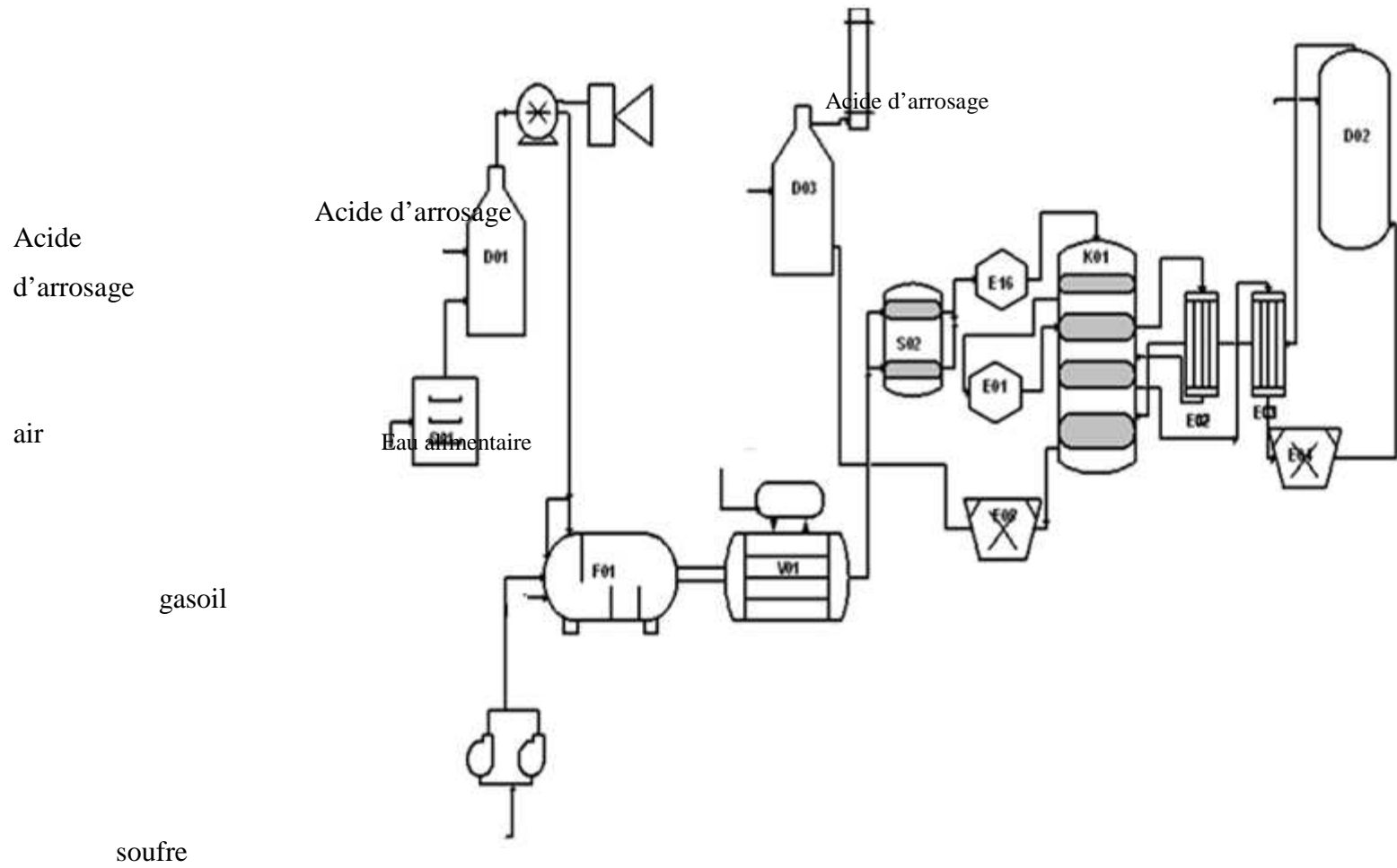
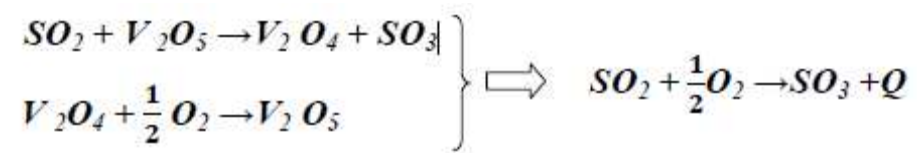


Figure 5: schéma général de la production de l'acide sulfurique

2.2. Conversion de SO2 en SO3

Après la chaudière, le gaz passe à travers un filtre à gaz, qui comporte deux masses, pour éliminer les cendres contenues dans le soufre, arrivant au convertisseur, qui contient le pentoxyde de vanadium (V2O5) nécessaire pour augmenter la vitesse de la conversion de SO2 en SO3, dont le mécanisme de cette conversion est le suivant :





La réaction de conversion n'est pas complète, en effet, le taux de conversion de la réaction dépend de la répartition et la quantité du catalyseur dans les couches du convertisseur. Dans les unités sulfuriques PCJ le taux de conversion est 99,5 %, le SO₂ non converti est une source d'émission polluante.

Les gaz passent par la première masse catalytique, où SO₂ sera convertie partiellement en SO₃, cette réaction est exothermique, le SO₂ doit être refroidis pour améliorer son rendement lors de l'oxydation dans la prochaine masse. Les gaz quittant la première couche circulent vers le surchauffeur E01 où ils sont refroidis en chauffant la vapeur haute pression (HP).

Les gaz chauds sortent de la seconde masse, pour se refroidir dans un échangeur de chaleur (gaz à gaz) E02. La température des gaz allant vers la 3^{ème} masse est contrôlée par un by-pass coté calandre.

Les gaz de la 3^{ème} masse sont refroidis dans l'échangeur de chaleur E03 et dans l'économiseur E04. Puis ils sont transférés vers la tour d'absorption intermédiaire D02, où se fait l'absorption de SO₃ par l'acide sulfurique à 98,5%.

Les gaz sortant de la tour d'absorption D02 contiennent encore du SO₂ non converti, ils circulent dans les tubes de l'échangeur de chaleur E03, où ils sont réchauffés par les gaz quittant la 3^{ème} masse du convertisseur. Puis ils passent par E02 avant de traverser la quatrième masse du convertisseur où la conversion finale du SO₂ en SO₃ à lieu.

Les gaz qui partent de la 4^{ème} masse se refroidissent dans le surchauffeur-économiseur E05 respectivement par la vapeur HP et l'eau d'alimentation de la chaudière, et ils entrent dans la tour d'absorption finale D03 pour transformer le SO₃ en H₂SO₄ avant de dégager le reste des gaz dans l'atmosphère par la cheminée.



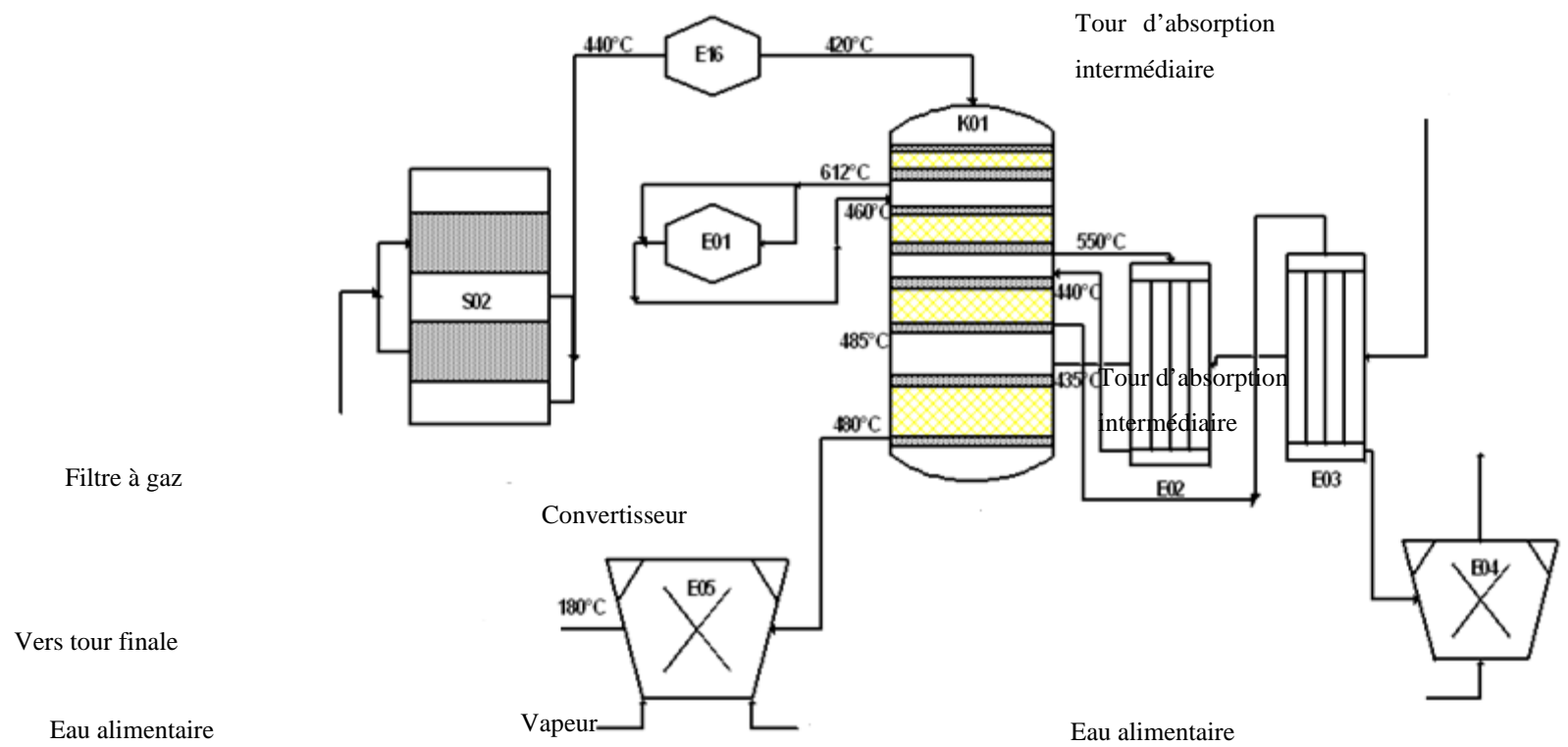
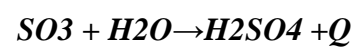


Figure 6: schéma du convertisseur et des échangeurs

2.3. Absorption de SO3 et formation de H2SO4

L'absorption de SO3 se fait dans un milieu acide par le biais de l'acide sulfurique dilué de 98 à 98,5 %, la réaction d'absorption est aussi exothermique:



L'absorption se fait dans 2 colonne à garnissage, la première ayant lieu après la 3ème masse du catalyseur, elle est nommée tour d'absorption intermédiaire. Le fait de retirer le SO3 du gaz avant qu'il retourne vers la quatrième couche de conversion, déplace l'équilibre réactionnel de la conversion et permet d'obtenir une bonne conversion au niveau de la 4ème couche.



Environ 90% de SO₂, passe par les trois premières couches de catalyseur sont convertis en SO₃ et absorbé ensuite dans la tour intermédiaire. Les 10% restant sont absorbés dans la tour d'absorption finale après la conversion dans la 4^{ème} couche du convertisseur.

La température de l'acide est contrôlée par le biais des échangeurs (E05, E06, E07, E08 et E17) puisque la température augmente à la sortie des deux tours d'absorption, suite à l'apport de la chaleur sensible du gaz et de la chaleur de formation de H₂SO₄. L'acide de circulation dans les tours de séchage et d'absorption est récupéré dans les deux bacs intermédiaires R01 et R02, où l'eau de dilution est ajoutée automatiquement pour maintenir le titre d'acide à 98,5%.

3. Equipements de production

3.1 Turbosoufflante

Le soufflage d'air dans le four est assurée par un compresseur d'air de type centrifuge actionné par une turbine, la vitesse de la turbine est contrôlée par lavanne régulatrice d'admission de la vapeur surchauffée HP.

La turbosoufflante est équipée aussi d'un réservoir d'huile de lubrification menu d'un chauffeur électrique, un double refroidisseur et un système de contrôle de vibration et de température.

3.2 Filtre à air

Le filtre à air est installé à la prise d'air atmosphérique, pour éliminer les poussières contenues dans l'air en passant par des toiles filtrantes. La poussière représente un poison pour la masse catalytique dans le convertisseur et affecte la qualité de l'acide dans la tour de séchage.

3.3 Four de combustion (F01)

Le four de la combustion du soufre est une chambre horizontale de 16490mm de longueur, il est construit en acier, avec un revêtement intérieur de deux couches de briques, une couche de briques d'isolation de 115 mm d'épaisseur et une couche de briques réfractaires de 230 mm.

Le four contient deux chicanes internes construites en briques pour assurer un bon mélange des gaz et une combustion complète.



Le soufre liquide se brûle dans le four en présence de l'air séché et préchauffé, le soufre est introduit dans le four par cinq brûleurs à pulvérisation mécanique, l'air qui alimente le four est réparti en deux parties :

- L'air primaire ou l'air de combustion c'est l'air qui participe à la combustion du soufre liquide.
- L'air secondaire ou de dilution : sert à l'homogénéisation des gaz et à la dilution de la teneur en SO₂ dans la masse gazeuse (conditionnement des gaz avant conversion).

3.4 Chaudières de récupération (V01)



Figure 7: Chaudière de récupération

Le gaz de procédé doit être refroidi de 1150°C à 425°C avant son admission dans la première passe du convertisseur.

Chaque ligne de l'atelier sulfurique dispose d'une chaudière tubulaire pour le refroidissement des gaz, la récupération de l'énergie et par la suite la production de la vapeur saturée au moyen de

l'échange de la chaleur entre les gaz du four qui passent par le côté tubes et l'eau alimentaire dans le côté calandre.

La chaudière est alimentée en eau par un ballon et qui sert à la récupération de la vapeur produite (2/3 pour l'eau et 1/3 pour la vapeur)



3.5. Filtre à gaz chaud (SO₂)

Le filtre à gaz chaud est vertical construit en acier au carbone, il contient en parallèle deux lits de morceaux de briques réfractaires concassées de 3 à 10 mm de diamètre. Chaque lit a une épaisseur de 350 mm et repose sur une couche de 50 mm de morceaux de briques réfractaires concassés de 15 à 25 mm de diamètre retenus par une grille d'acier.

3.6. Convertisseur catalytique (K01)

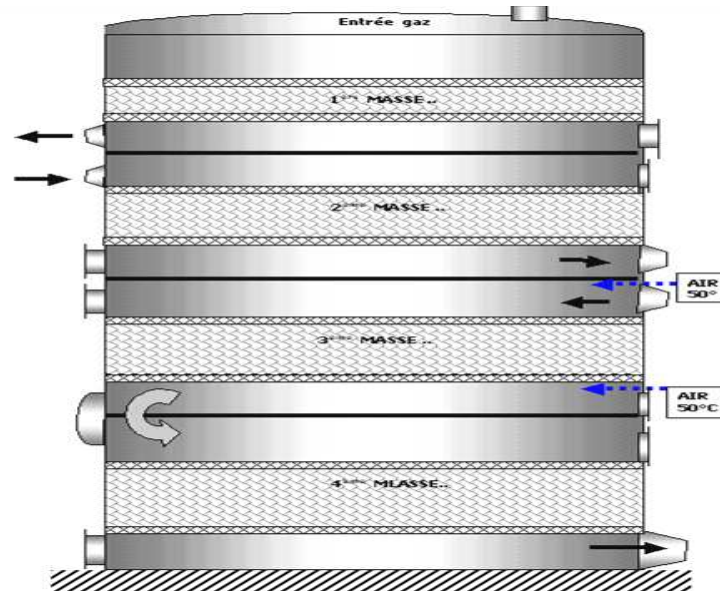


Figure 8: Schéma typique d'un convertisseur

Le convertisseur contient quatre couches du catalyseur qui est le pentoxyde de vanadium (V₂O₅).

Dans chaque lit catalytique, on a un taux de conversion de SO₂ en SO₃ qui dépend de la température d'entrée du gaz.

L'épaisseur du catalyseur diffère d'un lit à un autre.

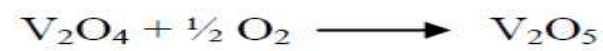
La conversion de l'anhydride sulfureux en anhydride sulfurique (en présence du Vanadium) :



Tableau 2: le taux de conversion et les marges de températures requises pour chaque lit catalytique

Lits	Température (°C)		Taux de conversion(%)
	Entrée	Sortie	
1 ^{er}	420- 425	600-610	52
2 ^{ème}	440-465	530-560	84
3 ^{ème}	440-445	480-500	93-95
4 ^{ème}	425-430	470-490	99,5

Les réactions intermédiaires mises en jeu :



3.7 Tour de séchage (D01)

La tour de séchage est une verticale en acier au carbone à fond bombé de diamètre intérieur 7550 mm, elle est revêtue à l'intérieur par une couche de briques antiacides.

Le garnissage de la tour est constitué d'une couche de 3700 mm de selles Intalox en céramique.

La tour est équipée d'un système de distribution de type auge et tubes de descente, au-dessus on trouve un système de dévésiculation localisé au sommet.

3.8 Tour d'absorption intermédiaire (D02)

La tour intermédiaire est verticale, à fond plat, en acier inoxydable avec un diamètre intérieur de 7000 mm, elle est revêtue d'une couche de garnissage de 3700 mm de selles Intalox en céramique.



Elle est équipée aussi d'un système de distribution de type auge, tubes de descente en inox et au-dessus on trouve le système de dévésiculation.

3.9 Tour finale d'absorption (D03)

La tour d'absorption finale est une tour verticale en acier au carbone, à fond bombé, elle a 7000 mm de diamètre intérieur et elle est revêtue à l'intérieur par des briques antiacides et remplie par une couche de 4300 mm de selles Intalox.

Cette tour est équipée du même système de distribution et de dévésiculation que les deux tours précédentes.



Figure 9:
tours,
séchage,
d'absorption intermédiaire et d'absorption finale

Chapitre 1 : Présentation de l'office chérifien des phosphates et du pôle chimie JORF-LASFAR et description de l'Atelier Sulfurique.

les trois
tour de

3.10 Surchauffeurs et Economiseurs

- Le surchauffeur (E01)



Il est dimensionné pour refroidir le gaz à la sortie de la 1ère masse du catalyseur, par échange avec la vapeur qui sort de l'échangeur E16. La calandre est les tubes sont construites en inox avec ailettes soudées en continu.

- Les échangeurs gaz/gaz (E02 et E03)

L'échangeur E02 assure le refroidissement du gaz chaud à la sortie de la 2ème masse en chauffant le gaz froid qui sort de E03 alors que ce dernier échange la chaleur entre le gaz sorti de la 3ème masse et le gaz sorti de la colonne d'absorption D02.

- L'économiseur (E04)

Il est conçu pour refroidir le gaz SO₃ par échange de la chaleur avec l'eau alimentaire de la chaudière.

- Le surchauffeur / économiseur (E05)

Dans la partie surchauffeur le gaz chaud de la 4ème masse du convertisseur échange de la chaleur avec la vapeur saturée produite au niveau de la chaudière de récupération; Dans la partie économiseur l'eau alimentaire issue de la centrale électrique récupère l'énergie du gaz à la sortie de la partie surchauffeur.

- Les refroidisseurs d'acide (E06, E07, E08, E09 et E17)

Ce sont cinq refroidisseurs tubulaires en eau de mer (eau de mer coté tube, acide côté calandre) protégés anodiquement contre la corrosion, ils sont dimensionnés pour refroidir l'acide sulfurique à 98.8 % utilisé pour l'arrosage des tours d'absorption.

- Le surchauffeur (E16)

Le surchauffeur E16 est une modification apportée au processus de production pour récupérer le maximum d'énergie produite lors de la combustion du soufre d'une part et pour régler la température des gaz à l'entrée du convertisseur d'autre part.





Conclusion :

Dans ce chapitre on a présenté l'entreprise d'accueil, le pôle chimique JORF LASFAR et l'atelier sulfurique de Maroc phosphore, on a vu aussi que la production de l'acide passe par trois étapes principales la combustion, la conversion et l'absorption.





Chapitre 2

Etude bibliographique

Introduction

Dans ce chapitre on va commencer par des généralités sur la maintenance. Dans la deuxième section, nous définirons la méthode ABC ou Pareto utilisée pour, dans un premier temps chercher les circuits plus critiques, dans un deuxième temps mes composants les plus critiques. A la troisième section nous définirons les méthodes AMDEC et diagramme d'Ishikawa utilisés pour chercher les causes racines, et enfin le brainstorming pour bien préciser les causes et les solutions amélioratives

Chapitre 2 : Etude bibliographique

I. Généralités sur la maintenance

1. Définition

« La maintenance est un ensemble d'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 »



2. Les niveaux de la maintenance

La norme X60010 nous propose un découpage à cinq niveaux, d'une part pour classer les différentes actions de maintenance en fonction de leur importance, et d'autre part pour déterminer la famille d'intervenants. Le classement est donné sur le tableau suivant :

Niveau	Action	Outillage	Personnel
1	Entretien court sur site	Outillage disponible sur place	Exploitant sur place
2	Petites interventions sur site	Pièces de rechange disponible sans délai	Technicien habilité
3	Grosses intervention sur site	Outillage prévu	Technicien spécialisé
4	Retour en atelier local	Outillage plus spécialisé	Equipe de spécialistes
5	retour chez constructeur	Moyens de constructeur	Equipe polyvalente

Tableau 2: Les niveaux de maintenance

Chapitre 2 : Etude bibliographique

3.Types de maintenance

Il est classique de distinguer, selon la norme X 60010 deux grandes typologies de maintenance qui sont le correctif et le préventif.



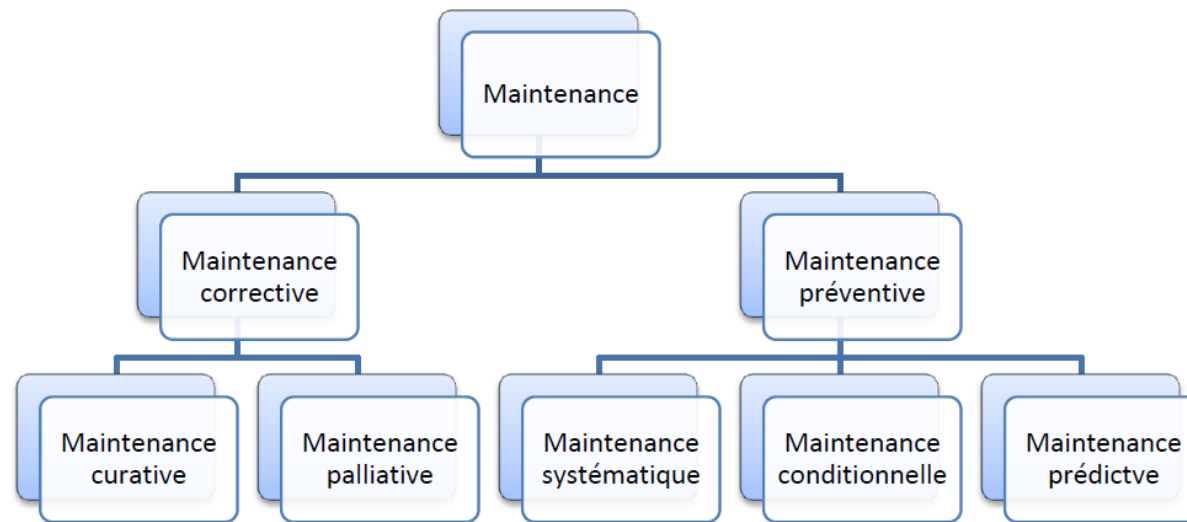


Figure 10: Les types de la maintenance

a. Maintenance corrective

Elle regroupe les différentes opérations effectuées après l'application d'une défaillance sur un équipement donné. Ces opérations comportent notamment la localisation de la défaillance et son diagnostic, la remise en état avec ou sans modification et le contrôle du bon fonctionnement. Il est à souligner que les activités de maintenance corrective sont subies et découlent directement des conséquences de l'apparition d'une défaillance. Ces activités englobent deux types d'interventions : Les interventions palliatives qui remettent l'équipement en état de fonctionnement provisoirement. Cette maintenance palliative est principalement constituée d'action à caractère temporaire qui doit être suivie d'une action curative. Les interventions curatives, qui réparent l'équipement d'une manière définitive. Ces activités peuvent être des réparations des modifications ou des remplacements ayant pour objet de supprimer la ou les défaillances.

b. Maintenance préventive

Cette

Chapitre 2 : Etude bibliographique

maintenance a pour objet d'éviter la dégradation de l'équipement et par conséquent réduire la probabilité d'occurrence d'une défaillance. Les activités correspondantes sont déclenchées selon un échéancier établi à partir de critères prédéterminés significatifs de l'état de dégradation de l'équipement (maintenance conditionnelle). On trouve aussi une maintenance dite de ronde qui se caractérise par une



surveillance régulière de l'équipement sous forme de visite à fréquence élevée, entraînant si nécessaire des travaux mineurs d'entretien. Sommairement on distingue:

➤ **Maintenance systématique :**

Correspond à l'ensemble des actions destinées à restaurer, totalement ou partiellement la marge de résistance des matériels non défaillants. Elle comprend le remplacement systématique de certains composants critique en limite d'expiration de leur durée de vie, le remplacement de composant peu coûteux pour éviter les dépenses d'évaluation de leur état et l'essentiel de service.

➤ **Maintenance conditionnelle :**

Elle est effectuée sur la base de critère d'acceptation préétablis, suite à l'analyse de l'évolution surveillée de paramètre significatif. Elle admet toutefois que l'équipement puisse continuer à fonctionner en dépit de l'occurrence de défaillance progressive, tant que celles-ci n'ont pas atteint les limites spécifiques. En revanche, ce type de maintenance requiert des tâches additionnelles pour évaluer le niveau de dégradation de l'équipement et entamer ensuite les interventions nécessaires.

➤ **Maintenance prédictive :**

Ce type de maintenance est subordonné à l'analyse de l'évolution surveillée de la dégradation de l'équipement. Elle permet ainsi d'optimiser en retardant ou en avançant la planification des interventions.

4. Etude de la fiabilité des équipements

4.1 Définition probabiliste

C'est « la probabilité pour un équipement d'accomplir une fonction requise, dans des conditions déterminées, pendant une période donnée ». En d'autres termes, c'est la probabilité pour que l'équipement fonctionne dans des conditions données pendant un temps donné.

4.2 La fiabilité : pour qui ?

La terminologie de la fiabilité s'applique aussi bien à de grands nombres de dispositifs identiques, tels que des résistances ou des transistors, qu'à un dispositif unique (on suppose alors que le dispositif, même réparé, conserve ses propriétés initiales). En fait, on trouve deux sortes de dispositifs :



- Les dispositifs non réparables (résistances, transistors, batteries, goupilles, joints, etc..) dont on effectuera le changement standard ;
- Les dispositifs réparables qui feront l'objet d'une maintenance corrective.

4.3 Le temps :

La distribution des temps jusqu'à défaillance ou des temps entre défaillances constitue la base des définitions des termes relatifs aux caractéristiques de fiabilité. Le temps s'exprime bien sûr en secondes, mais il peut aussi s'exprimer en « **unités d'usage** » (heures, distances, cycles ou toutes grandeurs appropriées : 1 heure, 3 mois, 1000 km, etc.). Le temps t associé à chaque dispositif ou équipement, définit une variable aléatoire T que l'on traitera selon les méthodes usuelles du calcul des probabilités :

- a) pour les **dispositifs non réparables**, on relève le temps jusqu'à défaillance figure.

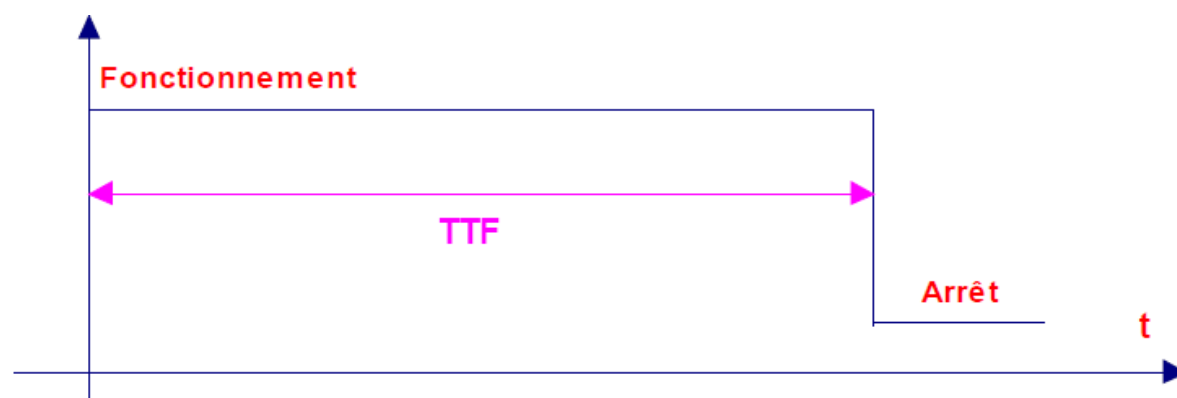


Figure 11: Cas d'un système non réparable

Sur cette figure, **TTF** signifie **Time To Failure**(temps jusqu'à la défaillance irréversible).

- b) Pour les **dispositifs réparables**, on relève le temps entre deux défaillances successives figure



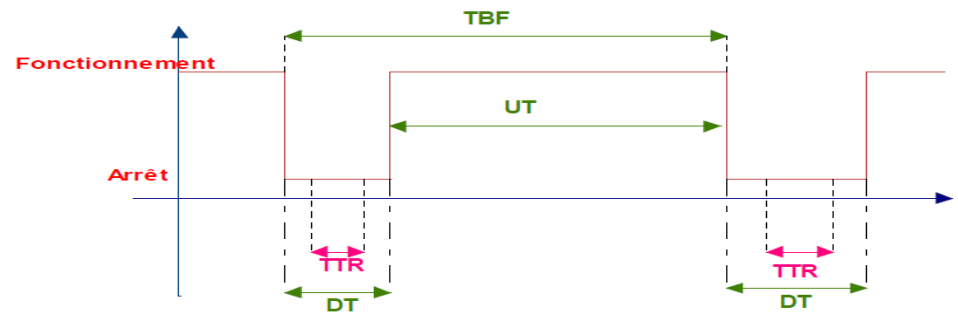


Figure 12: Mise en évidence des temps sur un système réparable

c) Les abréviations utilisées sont les suivantes :

- **TBF = Time Between Failures** (temps s'écoulant entre deux défaillances),
- **UT = Up Time** (temps de fonctionnement après réparation ou **temps de disponibilité**),
- **DT = Down Time** (temps d'arrêt sur défaillance, y compris le temps de diagnostic de la panne, la réparation et le temps de remise en service, donc **temps d'indisponibilité**),
- **TTR = Time To Restoration** (temps de réparation),

Il existe d'autres indicateurs de fiabilité qui s'expriment par des moyennes de temps définis :

- TBF, TTF et UT pour des matériels en état de fonctionnement,
- TTR et DT pour des matériels hors état de fonctionnement.

Si l'on moyenne ces temps sur la durée de vie du matériel, on va obtenir, avec **M = Mean** (moyenne), les MTBF, MTTR, MUT, MDT et MTTF.

Parmi ces indicateurs, le MTBF a un très grand intérêt : c'est l'espérance mathématique du temps de bon fonctionnement entre deux défaillances.

- Le MTBF s'exprime le plus souvent en heures, mais on peut utiliser une autre unité d'usage.
- Une bonne approximation du MTBF est donnée par la formule:



$$MTBF \cong \frac{\sum UT}{\text{Nombre de défaillances}}$$

à condition que les DT soient très petits devant les UT.

II. La méthode ABC

Un économiste italien, Vilfredo Pareto, en étudiant la répartition des impôts constata que 20 % des contribuables payaient 80 % de la recette de ces impôts. D'autres répartitions analogiques ont pu être constatées, ce qui a permis d'en tirer la loi des 20-80 ou la loi de Pareto. Cette loi peut s'appliquer à beaucoup de problèmes, c'est un outil efficace pour le choix et l'aide à la décision.

L'exploitation de cette loi permet de déterminer les éléments les plus pénalisants afin d'en diminuer leurs effets :

- Diminuer les coûts de maintenance.
- Améliorer la fiabilité des systèmes.
- Justifier la mise en place d'une politique de maintenance.

1. FONCTION

Suggérer objectivement un choix, c'est-à-dire classer par ordre d'importance des éléments (produits, machines, pièces...) à partir d'une base de connaissance d'une période antérieure (historique de pannes par exemple). Les résultats se présentent sous la forme d'une courbe appelée courbe ABC dont l'exploitation permet de détecter les éléments les plus significatifs du problème à résoudre et de prendre les décisions permettant sa résolution.

2.METHODE

L'étude suppose obligatoirement que l'on est :

Un historique

Des prévisions

Pour un secteur ou un système donné l'application de la loi de Pareto impose plusieurs étapes :

Définition de l'objectif de l'étude et de ses limites.





Ces éléments peuvent être :

- Des matériels.
- Des causes de pannes.
- Des natures de pannes...

Choisir le critère de classement.

Organiser le classement selon les critères de valeurs retenus (les coûts, les temps, les rebuts...).

Construire un graphique.

Ce graphe fera apparaître les constituants sur la situation étudié.

Déterminer les zones ABC.

Il s'agit de délimiter sur la courbe obtenue des zones à partir de l'allure de la courbe. En général la courbe possède deux cassures, ce qui permet de définir trois zones :

La partie droite de la courbe OM

Détermine la zone A.

La partie courbe MN détermine la zone B.

La partie assimilée à une droite NP détermine la zone C.



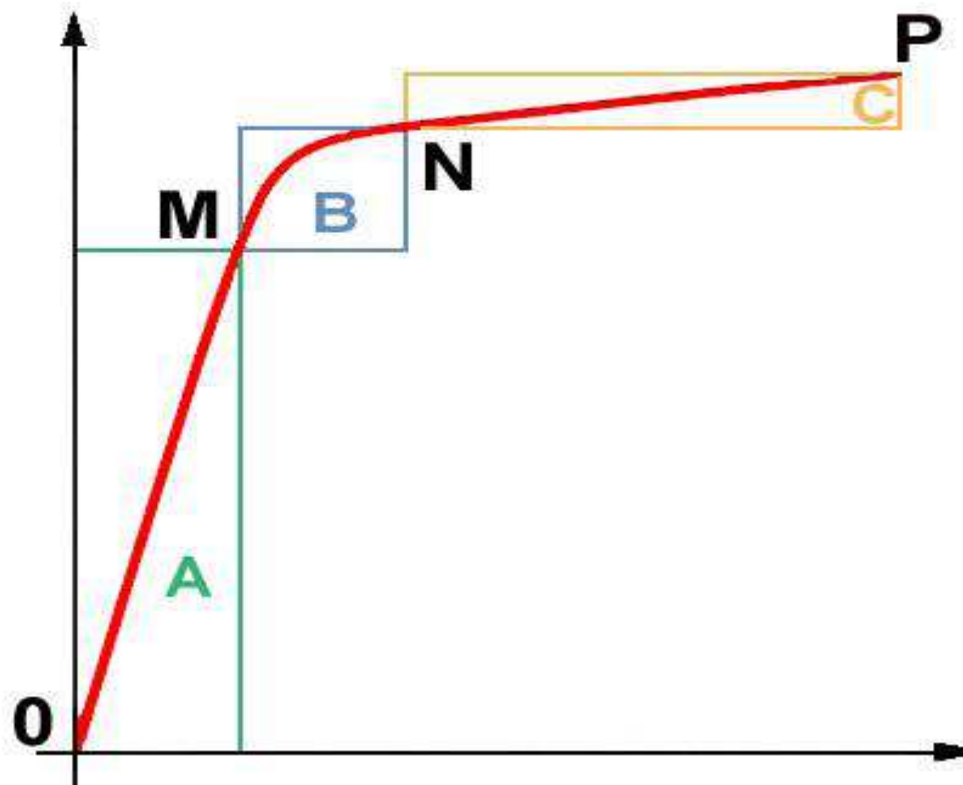


Figure 13: courbe montrant les zones A, B et C

Interprétation de la courbe.

L'étude porte dans un premier temps sur les éléments constituant la Zone A en priorité.

Si les décisions et modifications apportées aux éléments de la zone A ne donnent pas satisfaction, on continuera l'étude sur les premiers éléments de la zone B jusqu'à satisfaction. Les éléments appartenant à la zone C peuvent être négligés, car ils ont peu d'influence sur le critère étudié.

III. La méthode AMDEC

L'AMDEC (analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité) est une technique spécifique de la sûreté de fonctionnement, mais aussi et surtout une méthode d'analyse de systèmes (systèmes au sens large composé d'éléments fonctionnels ou physiques, matériels, logiciels, humains ...), statique, s'appuyant sur un raisonnement inductif (causes conséquences), pour l'étude organisée des causes, des effets des défaillances et de leur criticité. Dans le cas présent de la pompe



03P20, nous allons effectuer une étude AMDEC-Moyen qui permet d'analyser des causes réelles de défaillance ayant pour conséquence l'altération de la performance du dispositif de production. Cette altération de performance se mesure par une disponibilité faible du moyen de production. Dans ce cas l'analyse est conduite sur le site, avec des récapitulatifs des pannes, les plans, les schémas, etc. L'objectif est généralement ici de:

- connaître l'existant ;
- améliorer ;
- optimiser

La méthode AMDEC est de pouvoir quantifier l'importance du risque lié à chaque effet. Trois critères sont ainsi définis :

- La fréquence d'apparition de l'incident (qui sera notée f) : on peut ainsi estimer qu'un certain genre d'incident risque d'arriver une fois par an. Une variante de la fréquence temporelle.
- La gravité (notée G), qui est calibrée selon les critères de satisfaction du client De manière générale, on fait apparaître dans l'échelle de la gravité, en parallèle, la notion de danger associé à la défaillance. Toute atteinte à la sécurité de l'utilisateur ou du public est ainsi déclinée par un niveau élevé de la gravité.
- La détection (notée D), est un facteur auquel on pense de façon beaucoup moins immédiate. Elle est calibrée en fonction des moyens de mesure de l'apparition des causes de dysfonctionnement mis en œuvre.

Chacun de ces critères sera évalué avec une table de cotation établie sur 5 niveaux, pour le critère de gravité, et sur 4 niveaux, pour les critères de fréquence et de non-détection. Les tableaux **2,3** et **4** présentent un exemple de barème de cotation de la criticité (Voir Annexe). l'indice de criticité est calculé pour chaque défaillance, à partir de la combinaison des trois critères précédents, par la multiplication de leurs notes respectives :



$$C = F \times G \times D$$

Ce qui permet de hiérarchiser les défaillances et de recenser celles dont le niveau de criticité est supérieur à une limite constante et caractéristique du dispositif considéré. Il peut être contractuellement imposé. Le seuil de criticité varie en fonction des objectifs de fiabilité ou des technologies traitées, on fixe le seuil de criticité à 16, les défaillances présentées dans le tableau dépassent ce seuil donc elles doivent faire l'objet d'une action corrective.

IV. Diagramme d'Ishikawa

Diagramme de causes et effets, diagramme d'Ishikawa, diagramme arêtes de poisson ou 5M est un outil développé par [Kaoru Ishikawa](#) utilisé dans la [gestion de la qualité](#).

Ce diagramme représente de façon graphique les *causes* aboutissant à un *effet*. Il peut être utilisé comme outil de modération d'un [brainstorming](#) et comme outil de visualisation synthétique et de communication des causes identifiées. Il peut être utilisé dans le cadre de recherche de cause d'un problème existant ou d'identification et gestion des risques lors de la mise en place d'un projet.

Ce diagramme se structure habituellement autour des [5M](#). [Kaoru Ishikawa](#) recommande de regarder en effet l'événement sous cinq aspects différents, résumés par le sigle et moyen [mnémotechnique](#) 5M:

1. **Matière** : les matières et matériaux utilisés et entrant en jeu, et plus généralement les entrées du processus.
2. **Matériel** : l'[équipement](#), les machines, le [matériel informatique](#), les [logiciels](#) et les technologies.
3. **Méthode** : le mode opératoire, la logique du processus et la recherche et développement.
4. **Main-d'œuvre** : les interventions humaines.
5. **Milieu** : l'[environnement](#), le positionnement, le [contexte](#)



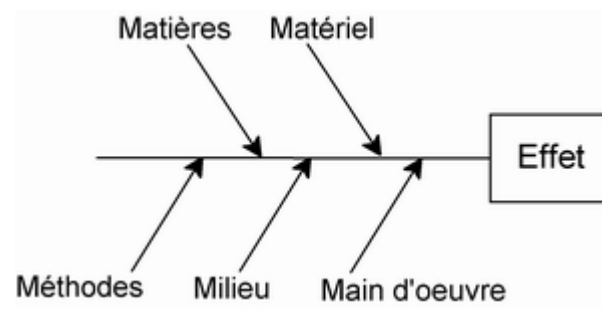


Figure 14: diagramme Ishikawa

V. le brainstorming

Le brainstorming ou remue-méninges est une technique de résolution créative de problème sous la direction d'un animateur.

La technique du brainstorming a été conçue en 1940 par Alex Osborne, vice-président de l'agence de publicité américaine BBDO. C'était à l'origine une méthode de réunion de groupe soigneusement préparée puis tout aussi soigneusement exploitée pour trouver un nombre important d'idées publicitaires et promotionnelles pour les clients et les clients potentiels de l'agence.

C'est la technique de créativité la plus souvent citée et la plus controversée au monde.

1. Principe général du brainstorming original

L'idée générale de la méthode est la récolte d'idées nombreuses et originales.

Deux principes de base définissent le brainstorming : la suspension du jugement et la recherche la plus étendue possible.

Ces deux principes de base se traduisent par quatre règles :

- ne pas critiquer,
- se laisser aller (« freewheeling »),
- rebondir (« hitchhike ») sur les idées exprimées
- et chercher à obtenir le plus grand nombre d'idées possibles sans imposer ses idées.



Ainsi, les suggestions absurdes et fantaisistes sont admises durant la phase de production et de stimulation mutuelles. En effet, les participants ayant une certaine réserve peuvent alors être incités à s'exprimer, par la dynamique de la formule et les interventions de l'animateur.

C'est pour amener à cet accouchement en toute quiétude que l'absence de critique, la suggestion d'idées sans aucun fondement réaliste, et le rythme, sont des éléments vitaux pour la réussite du processus.

2. Méthode :

- **Préparation, documentation et maturation**

- Constitution de l'équipe de travail, organisation de la réunion

- **Réunion de créativité**

- Débrider sa créativité en exprimant toutes ses idées sans réserve et sans autocensure

- Rebondir sur celles des autres et les améliorer car la quantité d'idées est importante

- Ne jamais critiquer les idées des autres

Note : L'animateur de la réunion est le gardien des règles relationnelles du groupe

- **Exploitation des idées recueillies**

- Reformuler, classer, hiérarchiser les idées sous une forme synthétique comme, par exemple, sous la présentation d'une grille de décision

Conclusion

Dans ce c
méthodes et tech
causes des arrêts



Chapitre 3 :

Etude critique des arrêts froids et chauds des unités sulfuriques

Introduction

Dans ce chapitre on va essayer de, Bien planifier les arrêts froids, afin de minimiser le temps programmé pour la maintenance. Puis on va essayer de minimiser les arrêts chauds, et donc minimiser les arrêts non programmés de la production.

Chapitre 3 : Etude critique des arrêts froids et chauds des unités sulfuriques

I. Arrêts froids

Il s'agit d'un arrêt à longue durée qui nécessite l'amorçage de redémarrage par un combustible (gas-oil).

Une fois la durée d'un arrêt à l'unité sulfurique de MP3 et 4 dépasse 36h, l'arrêt est dit arrêt froids puisqu'il demande un redémarrage par combustible. Généralement la durée est entre 3 à 5 semaines.



1. Les types des arrêts froids

En ce qui concerne les arrêts froids on trouve deux types : Arrêt froid programmé et arrêt froid forcé.

1.1 Arrêts froids programmés

Généralement, avec le suivi de l'évolution des paramètres de marche (débit, température, pression et concentration) ou les paramètres d'état de l'unité (disponibilité, encrassement,...) on peut prévoir les périodes où l'on doit procéder à l'arrêt froid, notamment pour tamisage des couches du convertisseur ou des filtres à gaz chaud.

Pour chaque arrêt programmé, il y a un ensemble de travaux, liés ou non à ces paramètres, que l'on doit planifier, de façon à éviter toute défaillance catalectique ultérieurement.

1.2 Arrêts froids forcés

Comme son nom l'indique, un arrêt froid est un arrêt qui est subordonné à la manifestation d'un événement imprévu, qui consiste à la défaillance d'un équipement de la ligne, tel que la turbosoufflante ou un autre équipement.

Dans ce cas la durée de l'arrêt est celle nécessaire à la remise en état de fonctionnement de

Chapitre 3 : Etude critique des arrêts froids et chauds des unités

l'équipement défaillant. Ainsi les travaux en " instance " ^{sulfuriques} qui ont une durée de réalisation inférieure ou égal à celle de l'arrêt, sont planifiés est réalisés.

2. Les causes d'un arrêt froid

Un arrêt froid se fait généralement chaque deux ans, ce qui provoque des pannes généralement dû à la dégradation de quelques composants des unités de production d'acide sulfurique, parmi ces pannes on trouve :

* Fuite au niveau du circuit énergétique (eau + vapeur) à l'intérieur des équipements suivants :

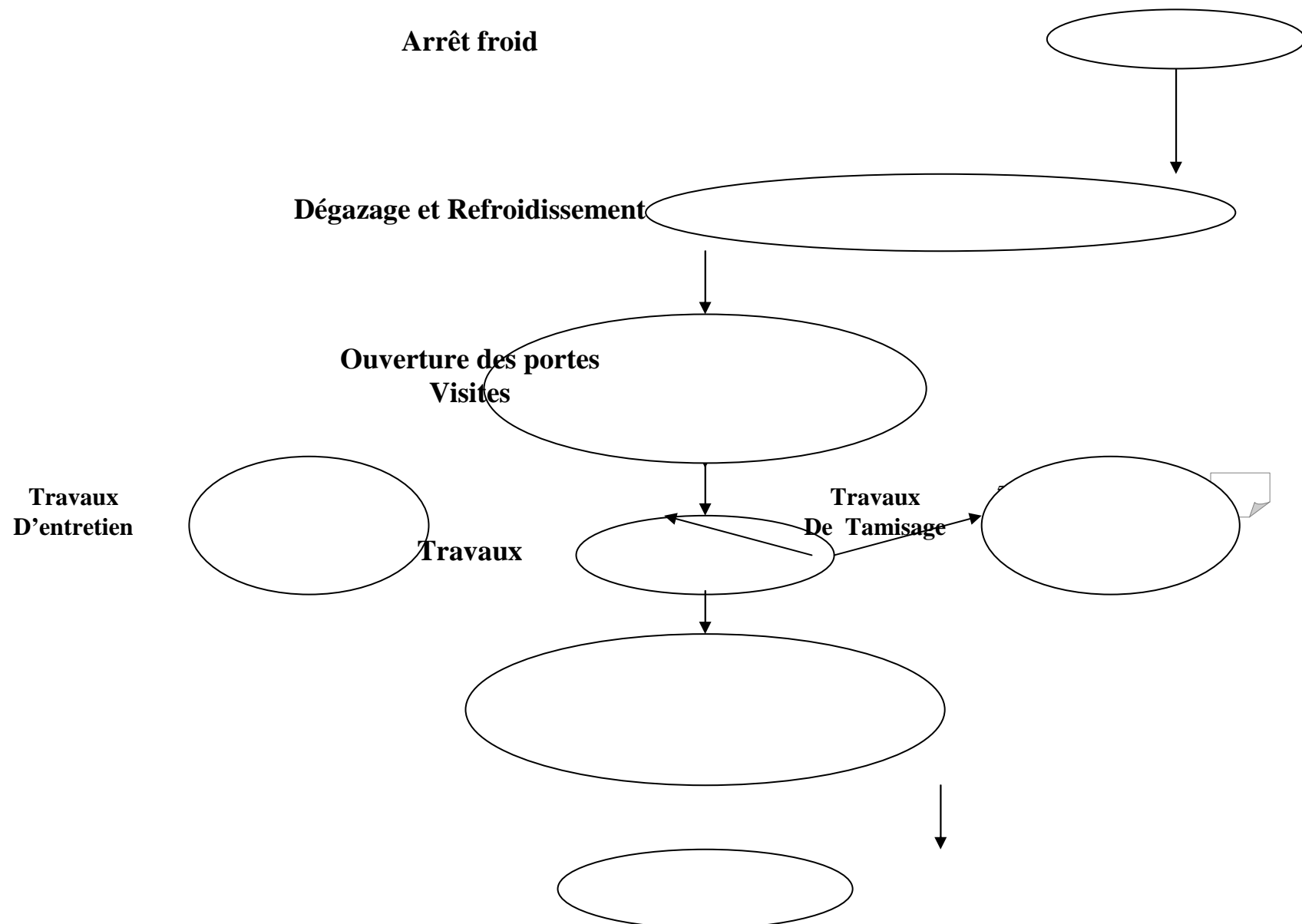
- Surchauffeur E01
- Economiseur E04
- Surchauffeur /Economiseur E05



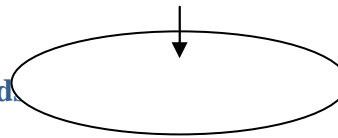
- * Fuite du gaz au niveau de Chaudière V01
- * Pertes de charge au niveau :
 - Masses du convertisseur
 - Filtre à gaz S02
 - Eliminateurs + garnissage au niveau des tours D01/D02/D03
 - ChaudièreV01 et Four F01
 - Echangeurs gaz-gaz
- * Endommagement des tubes des refroidisseurs :
- * Vibration anormale au niveau de la soufflante
- * Vibration anormale au niveau de Surchauffeur E01 ; d'Economiseur E04
- * Une des chicanes du four est démolie
- * Endommagement des soupapes d'admission de turbosoufflante

Chapitre 3 : Etude critique des arrêts froids et chauds des unités sulfuriques

Un arrêt froid est conduit actuellement conformément à la procédure suivante:



Chapitre 3 : Etude critique des arrêts froids
Production sulfuriques



Procédure

Figure 15:
générale d'un arrêt froid

3. Planification de l'arrêt froid

3.1 Les entées d'un arrêt froid

Liste des anomalies relevées parle service production.

Travaux systématiques :

- Révision mineur et majeur de la turbosoufflante
- Travaux de tamisage du catalyseur
- Travaux issus par la cellule de suivi équipements (remplacement des éliminateurs de brunes, anti vortex...)

Travaux issus par la cellule inspection (thermographie, contrôle ultra son, stick test, perte de charge...).

Travaux issus des recommandations des derniers arrêts froids.

Préparatifs :

- Etablissement des listes de prestations demandées aux services de soutien (logistique, génie civile, ateliers centraux, service électrique, service de sécurité,...).
- Etablissement des listes de pièces de rechange nécessaires.

La disponibilité des pièces de rechange pour la ligne Z est présentée dans la liste (annexe 1).

- Etablissement des listes de marchés et prestations sou traités.



L'annexe 2, présente la liste des marchés et prestation pour l'unité Z est présentée dans la liste (annexe 2).

Planning des travaux relevant du corps de métier (mécanique, électrique, régulation, process,...).

La planification est la première étape de la roue de Deming. La planification :

- permet de gérer des ressources limitées ;
- relève en partie de la chance ;

Chapitre 3 : Etude critique des arrêts froids et chauds des unités sulfuriques

- nécessite une priorisation des tâches.

Une planification associée à un projet : Outre la dimension principale qui est le temps (Quand), la planification prend forme selon ses autres dimensions que sont le périmètre des objectifs du projet (Quoi), les ressources (Qui), la manière et le chemin (Comment) et les obstacles possibles (Risques).

3.2 Techniques de planification

L'enjeu de notre planification est d'optimiser ces quatre paramètres, sachant que :

- les ressources sont limitées
- la durée doit être la plus courte possible
- le bénéficiaire du projet exigera toujours une qualité sans reproche

Découpage en tâches

Pour découper le projet en tâches élémentaires, on a pris comme référence l'historique des anciens arrêts, puis on a les positionné dans l'ordre logique de réalisation.

Ce sont ensuite ces différentes tâches qui font l'objet d'une planification. Il est donc essentiel que le découpage soit le plus pertinent possible : on pourra se tromper sur l'estimation de la charge d'une tâche et sur sa planification avec une marge d'erreur plus ou moins grande, mais si une tâche a été « oubliée » lors du découpage, la marge d'erreur sera, là, de 100 %.

Charge et délai :





Une fois on a découpage en tâches puis en taches élémentaires on a procédé :

- à l'estimation de la tâche : quelle en sera la charge, le délai, le coût ;
- à la planification de la tâche : quand débute-t-elle, quand se termine-t-elle (le début d'une tâche est déterminé par la disponibilité de la ressource affectée à cette tâche. Les outils de planification offrent cette fonction) ;
- à l'allocation des ressources : par qui est-elle réalisée, avec quels moyens.

L'estimation de la charge ou du délai d'une tâche n'est pas une science exacte et repose la plupart du temps sur l'expérience des planificateurs pour.

La
suit montre
du planning
pour l'unité

Chapitre 3 : Etude critique des arrêts froids et chauds des unités sulfuriques

pouvez voir tout le planning détaillé (annexe 3).

figure qui
un extrait
préparé
01Z, vous



ID	Task Mode	Task Name	Duration	Start	Finish	18 Mar '13							25 Mar '13							01 Apr '13						
						S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F	S	S	M	T	W	T	F
1		ARRET DE PRODUCTION DE L'UNITE 01Z	20,75 days	Sun 17/03/13	Fri 12/04/13	[Gantt bar]																				
2		Soufflage	2,42 days	Sun 17/03/13	Tue 19/03/13	[Gantt bar]																				
3	✓	Arrêt injection soufre	0 days	Sun 17/03/13	Sun 17/03/13	17/03																				
4		Soufflage air sec	48 hrs	Sun 17/03/13	Fri 22/03/13	[Gantt bar] QUERQOURI																				
5		Travaux d'arrêt (montage des SP Ouverture des CP3-4 démontage et extraction des bruleur a soufre)	10 hrs	Tue 19/03/13	Wed 20/03/13	[Gantt bar] IGHURZIFEN																				
6		CIRCUIT ACIDE	9,29 days	Tue 19/03/13	Mon 01/04/13	[Gantt bar]																				
7		Bac d'acide et tuyauterie de circulation	5,46 days	Tue 19/03/13	Tue 26/03/13	[Gantt bar]																				
8		Vidange bacs et circuit acide	4 hrs	Tue 19/03/13	Tue 19/03/13	[Gantt bar] QUERQOURI																				
9		Ouverture des PV des bacs	2 hrs	Wed 20/03/13	Wed 20/03/13	[Gantt bar] BABAH																				
10		Inspection initiale	2 hrs	Wed 20/03/13	Wed 20/03/13	[Gantt bar] OURRAK																				
11		Consignation pompes et cadenassage vannes d'acide	1 hr	Tue 19/03/13	Tue 19/03/13	[Gantt bar] SIBARI																				
12		Démontage des pompes et coudes	1 day	Wed 20/03/13	Wed 20/03/13	[Gantt bar] BABAH																				



II. Etudes des arrêts chauds

Les arrêts chauds sont des arrêts à courte durée qui ne nécessitent pas un démarrage par un combustible (gas-oil) mais seulement par l'auto-inflammation du soufre liquide.

Généralement à l'unité sulfurique de MP3 et 4, la durée d'arrêt chaud ne dépasse pas 36 heures.

1. Analyse de la fiabilité des unités de production

Le tableau suivant montre bien les résultats de mes études sur la fiabilité des 6 unités de production de l'acide sulfurique en se basant sur un historique de deux ans (l'année 2011 et 2012):

Tableau 3: tableau récapitulatif des résultats de la fiabilité des 06 unités

	01A	01B	01C	01X	01Y	01Z
Nombre d'heures calendaires	16670,72	16762,7	17020,4	15866,9	17544	17544
Total d'heures d'arrêt	234,55	476,08	267,93	287,68	184,85	350,12
Nombre d'arrêts	55	86	56	65	87	71
MTBF (H)	298,84	189,38	299,15	239,68	199,53	242,17

La comparaison des MTBF calculés par rapport au MTBF critique est représentée dans le diagramme qui suit :



:

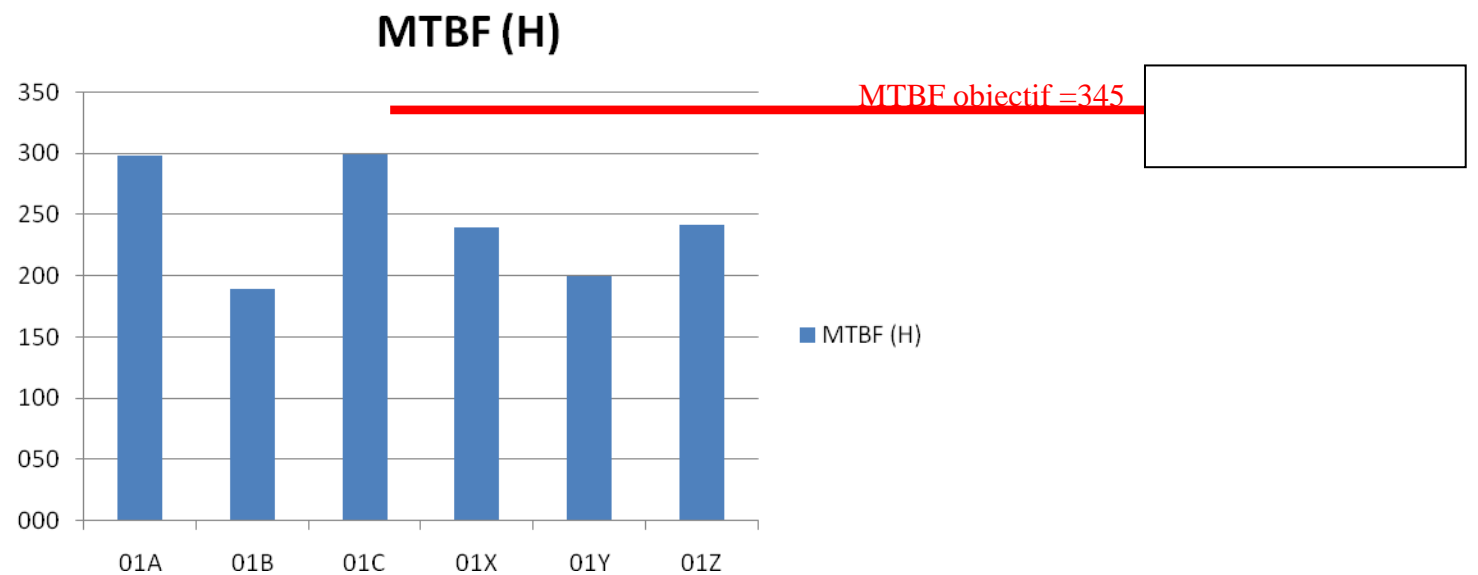


Figure 17 : diagramme présentant le MTBF de chaque unité de production

D'après les résultats, on voit que les unités 01A ,01C, ont une bonne fiabilité, l'unité 01B est la moins fiable. Mais tous les MTBF restent inférieurs au MTBF objectif.

A ce stade, nous devons améliorer la fiabilité de toutes les unités, donc il faut diminuer le nombre des arrêts, pour cela, on va utiliser la méthode ABC pour définir dans un premier temps des circuits les plus responsables des arrêts.

2. Etude des circuits responsables des arrêts chauds

L'étude était faite sur un historique de deux ans, le critère choisi est le cumul des heures d'arrêt. On va appliquer la méthode ABC pour définir les circuits responsables des arrêts chauds (annexe 4). Pour l'unité 01A par exemple, l'application de la méthode ABC donne comme résultat:



Tableau 4: la méthode ABC appliqué à l'unité 01A

cause d'arrêts hors externe	Total d'heures d'arrêts par circuit	% HAE par ordre décroissant	CUMUL en %
acide-tuyauterie	85,75	36,48%	36,48%
gaz-joint dilatation	30,87	13,16%	49,64%
gaz-fuite	28,72	12,24%	61,88%
Turbine	28,67	12,22%	74,10%
Process	14,05	5,99%	80,09%
gaz-autres	11,95	5,09%	85,18%
acide-ppes	12,47	5,32%	90,50%
acide-refroidisseurs	7,72	3,29%	93,79%
acide-autres	6,85	2,92%	96,71%
Vapeur	4,13	1,76%	98,47%
TS-ppes	3,17	1,36%	99,83%
soufre-ppes	0,40	0,17%	100,00%
eau de mer	0,00	0,00%	100,00%
TOTAL	234,75		

La figure qui suit représente les circuits responsables de 80% des pannes de l'unité 01A :

Chapitre 3 : Etude critique des arrêts froids et chauds des unités sulfuriques



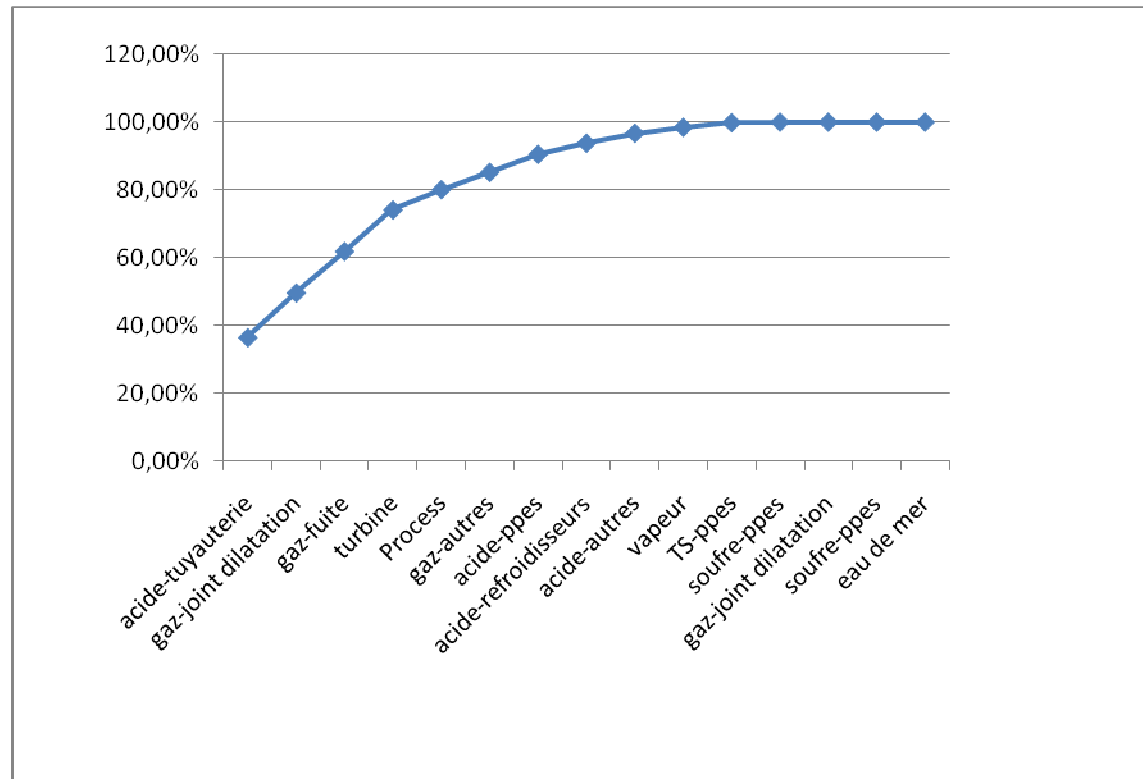


Figure 18: Graphe illustrant les circuits responsables d'arrêt de l'unité 01A

Pour cette unité 01A, les circuits responsables de 80% des arrêts sont :

- Acide-tuyauterie
- Gaz-joint-dilatation
- Gaz-fuite
- Turbine

On peut résumer toutes les résultats obtenus pour les 06 unités au tableau suivant :

Chapitre 3 : Etude critique des arrêts froids et chauds des unités sulfuriques

Tableau 5: Tableau récapitulatif des circuits responsables de 80% des arrêts des unités



Unité de production	Circuits représentant 80% des arrêts
01A	<ul style="list-style-type: none">• Acide-tuyauterie• Gaz-joint-dilatation• Gaz-fuite• Turbine
01B	<ul style="list-style-type: none">• Gaz-fuite• Acide-tuyauterie• Acide-refroidisseurs• Turbine• Process
01C	<ul style="list-style-type: none">• Process• Gaz-fuite• Acide-tuyauterie• Acide-ppes
01X	<ul style="list-style-type: none">• Gaz-fuite• Acide-tuyauterie• Process
01Y	<ul style="list-style-type: none">• Acide-tuyauterie• Gaz-fuite



Chapitre 3 : Etude critique des arrêts froids et chauds des unités sulfuriques

01Z	<ul style="list-style-type: none">• Acide-tuyauterie• Gaz-fuite• Acide-autre
-----	--

Le tableau précédent montre bien que les circuits responsables varient d'une unité à l'autre, après une réunion avec mon encadrant, ingénieur en maintenance mécanique, on a constaté que c'est difficile et trop lourd de travailler sur toutes ces causes, et Le fait du travailler sur les deux causes, **les fuites du gaz et acide tuyauterie**, permet du réduire le temps d'arrêts au nouveau de toutes les unités d'un pourcentage comme suit :

Pour l'unité 01A par exemple, on va gagner 36,48% du temps d'arrêt en travaillant sur le circuit acide et 12,24% en travaillant sur le circuit gaz (voir tableau 4), ce qui représente en total un gain de 48,72%.le tableau suivant représente le pourcentage du temps d'arrêt gagné pour chaque unité.

Tableau 6:Pourcentage du tps d'arrêt gagné pour chaque unité

unité	Pourcentage du tps d'arrêt gagné %
A	48,72
B	38,73
C	38,23
X	53,83
Y	66,83
Z	41,88



3. Définition des composants critiques

3.1 Etude du circuit gaz

Le circuit gaz commence dès que le soufre liquide est injecté sous pression à l'intérieur du four par cinq brûleurs afin d'avoir une combustion totale. **Chapitre 3 : Etude critique des arrêts froids et chauds des unités sulfuriques**

- Four et chaudière :

La température du gaz à la sortie du four à soufre (1175°C) est supérieure à la température requise à l'entrée du système de conversion. C'est pourquoi le gaz est refroidi dans la chaudière afin de récupérer le surplus de chaleur, en la transformant sous forme de vapeur saturée à haute pression. La température du gaz quittant la chaudière est contrôlée par un by-pass. De la chaudière, le gaz passe à travers le filtre à gaz chaud, et se dirige vers la première masse du convertisseur catalytique où le SO₂ est partiellement converti en SO₃ en présence du vanadium comme catalyseur.



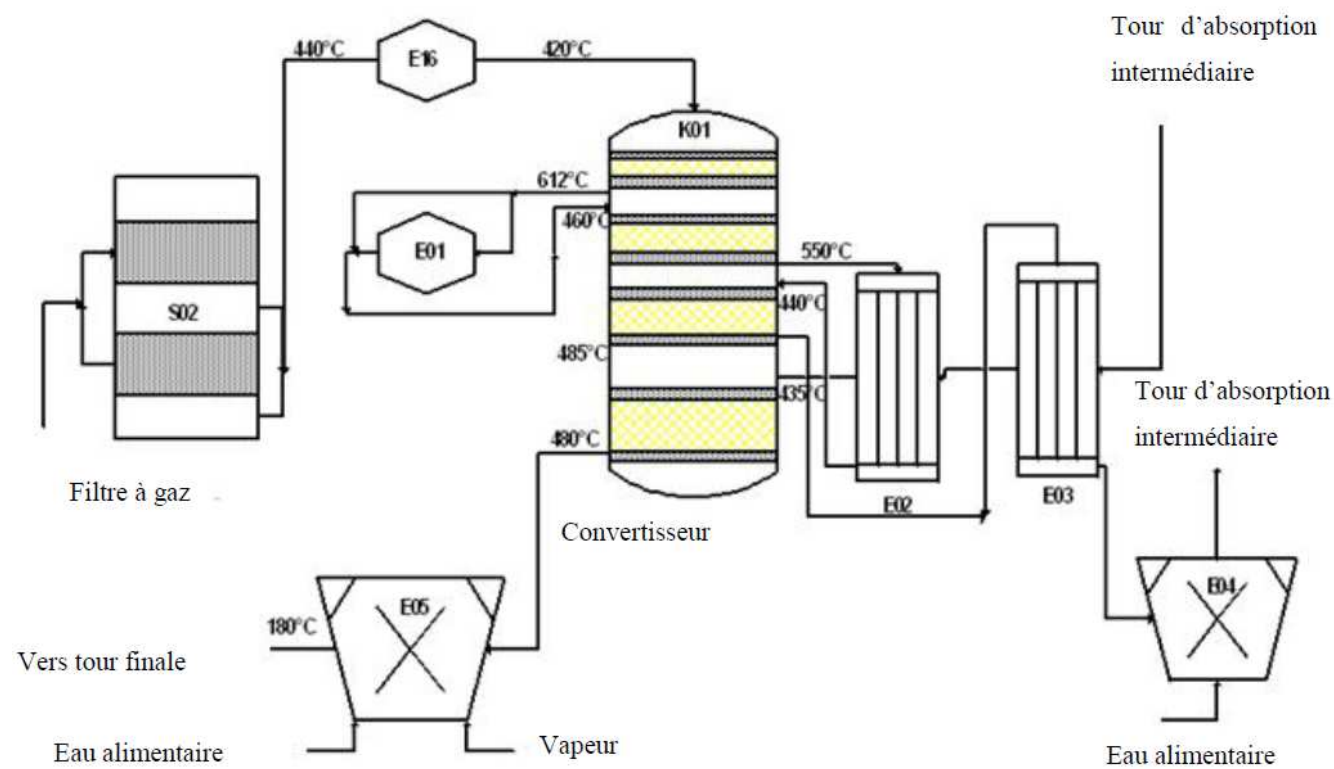


Figure 19: différents composants qui constituent le circuit gaz

- Convertisseur :

Le gaz produit lors de la combustion du soufre dans le four traverse le filtre à gaz. Le

Chapitre 3 : Etude critique des arrêts froids et chauds des unités sulfuriques

Le convertisseur est d'une forme cylindrique verticale se compose de quatre couches de catalyseur où s'effectue la conversion du SO_2 en SO_3 .

Les caractéristiques physico-chimiques du catalyseur imposent un soutirage des gaz réactionnels du convertisseur pour leur refroidissement au niveau de chaque lit catalytique afin de maintenir une température correcte d'entrée. Ainsi le gaz sortant du four est refroidi dans la Chaudière de récupération et dans un Surchauffeur de vapeur avant qu'il traverse la première couche catalytique.



Après la première couche, le gaz est refroidi par un Surchauffeur à vapeur, à la sortie de la deuxième couche catalytique le gaz est refroidi à l'intérieur d'un échangeur de chaleur à gaz à chaud qui sert aussi au réchauffage du gaz revenant de la tour d'absorption intermédiaire.

Le gaz sortant de la troisième couche, est envoyé vers la Tour d'absorption intermédiaire où le SO₃ du gaz est absorbé par l'acide sulfurique, le gaz est refroidi avant son admission à la tour par un échangeur de chaleur à gaz à froid et par un économiseur.

A la sortie de la quatrième couche du Convertisseur, le gaz est refroidi dans un économiseur/surchauffeur avant son admission dans la Tour d'absorption finale où le SO₃ résiduel est absorbé dans l'acide sulfurique en circulation.

- Absorption du SO₃ :

La combinaison directe de l'anhydride sulfurique SO₃ avec l'eau selon la réaction chimique:



Dans notre procédé, on obtient l'acide sulfurique en absorbant SO₃ par l'acide sulfurique en circulation à 98.5% de concentration, ainsi, le SO₃ réagit facilement avec l'eau contenue dans l'acide.

L'absorption est effectuée dans deux tours: Tour d'absorption intermédiaire et Tour d'absorption finale. La phase d'absorption intermédiaire est effectuée avant la conversion totale du SO₂ en SO₃ afin d'augmenter le taux de la conversion du gaz en retour vers le convertisseur. Le gaz sortant de la quatrième couche catalytique traverse la Tour d'absorption finale pour l'absorption du SO₃ avant de s'échapper par la cheminée.

Pour définir les composants critiques, on a appliqué pour la deuxième fois la méthode ABC, pour le circuit gaz les résultats étaient comme suit :

Chapitre 3 : Etude critique des arrêts froids et chauds des unités sulfuriques

Tableau 7: tableau résumant la méthode ABC pour le circuit gaz

Equipement cause d'arrêts	% HAE par ordre décroissant	CUMUL en %
BOITES A GAZ ENTRES SORTIES	42,53%	42,53%



CONVERTISSEUR		
DUCT SORTIE FOUR	19,49%	62,02%
SURCHAUFFEUR E01	15,73%	77,75%
BOITE 0 GAZ SORTIE E03	6,59%	84,34%
D02	6,43%	90,77%
CHAUDIERE	4,13%	94,90%
E04	3,82%	98,72%
D03	1,28%	100,00%

Pour ce circuit, les équipements responsables de 84,34 % des arrêts sont :

- boîtes à gaz sortie du convertisseur
- Duct sortie Four
- surchauffeur E01
- boîte à gaz entrée E03

3.2 Etude du circuit acide :

L'acide sulfurique fort utilisé pour le séchage de l'air de procédé dans la tour de séchage est dilué par la vapeur d'eau éliminée de

Chapitre 3 : Etude critique des arrêts froids et chauds des unités sulfuriques

l'air, tandis que l'acide venant de la tour intermédiaire est plus fort, alors on garde une concentration correcte par le mélange des deux acides dans le bac de pompage. Un appoint d'eau désiliciée est effectué à l'entrée du réservoir commun afin de corriger la concentration de l'acide à 98.5%.

La Tour finale alimente seul un deuxième bac de pompage d'une taille plus petite. Notez que l'absorption d'eau dans la Tour de séchage s'accompagne par une augmentation de la température de l'acide, et que la réaction d'absorption de SO₃ est exothermique ; ainsi, pour diminuer sa température l'acide subit un refroidissement en passant par cinq refroidisseurs à eau de mer. Et enfin l'acide produit est stocké dans l'unité 12.



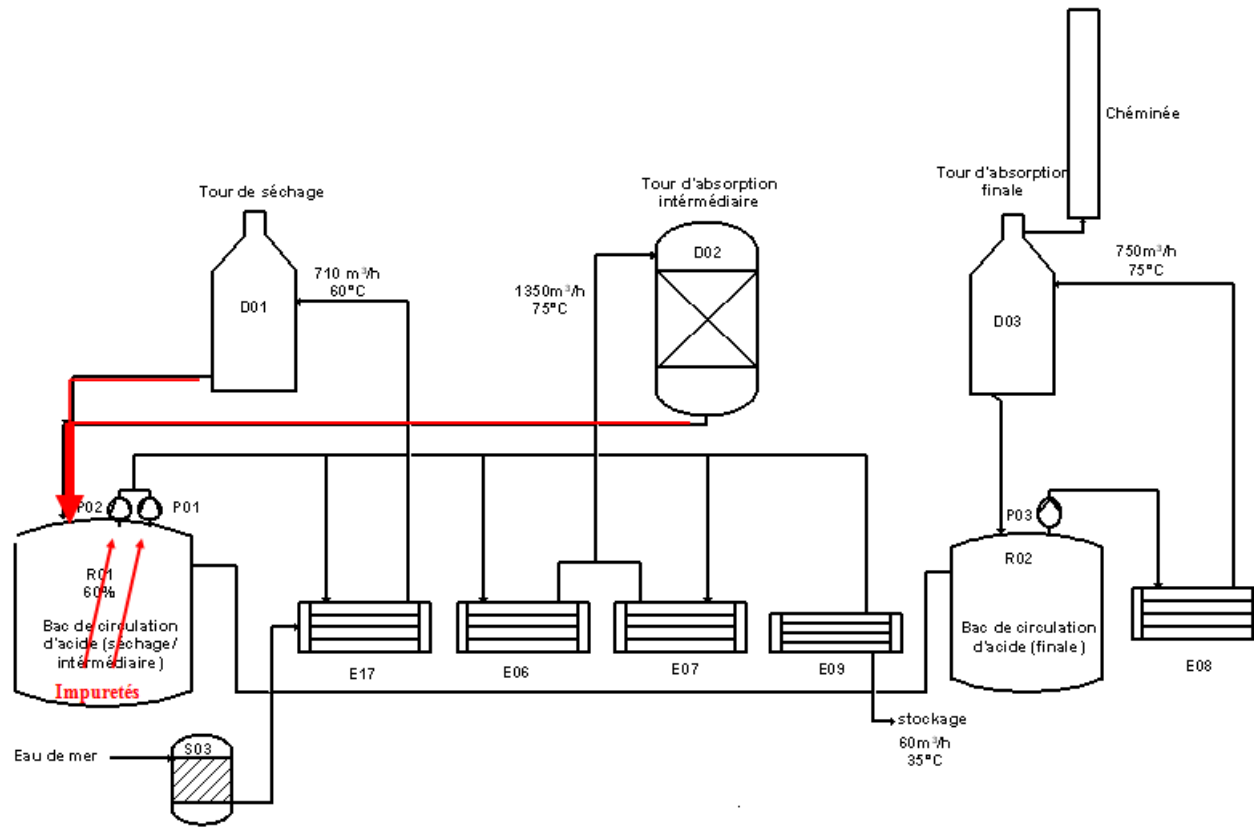


Figure 20: Différents composants qui constituent le circuit acide

Chapitre 3 : Etude critique des arrêts froids et chauds des unités sulfuriques

L'application de la méthode ABC pour le circuit acide a donné comme résultats :

Tableau 8: la méthode ABC appliquée pour le circuit acide

Equipement cause d'arrêts	% HAE par ordre décroissant	CUMILE en %
Fuite sortie D02	17,49%	17,49%
Coudes de sortie P01P02	17,43%	34,92%
E06	13,18%	48,10%
R01	12,63%	60,73%
E08	9,69%	70,42%
E09	9,66%	80,08%



E07	7,40%	87,48%
D01	6,23%	93,71%
D03	3,79%	97,50%
P03	2,50%	100,00%
R02	0,00%	100,00%

On remarque, qu'il faut travailler au niveau des entrées et sorties des équipements suivants :

- Les manchettes by-pass des E06, E07, E08, E09 : 42,51 %

Chapitre 3 : Etude critique des arrêts froids et chauds des unités sulfuriques

- Coude de Sortie de D02 : 17,49 %
- Coude de sortie du P01 P02 : 17,43 %
- R01 : 12,63 %

Ce qui représente un gain de 90,06 % des arrêts dû aux fuites au niveau de ce circuits.

III. Définition des causes racines par l'application de la méthode AMDEC et la méthode d'Ishikawa

1. circuit acide

D'après ce qui précèdent, les composants les plus critiques de ce circuit sont :

- Les manchettes by-pass des E06, E07, E08, E09 : 42,51 %
- Coude de Sortie de D02 : 17,49 %
- Coude de sortie du P01 P02 : 17,43 %
- R01 : 12,63 %

Ce qui représente un gain de 90,06 % des arrêts du aux fuites au niveau du ce circuits.



1.1 Les manchettes by-pass des E06, E07, E08, E09

D'après une réunion avec monsieur AISSA, on a décidé d'utiliser la méthode d'Ishikawa pour étudier les manchettes by-pass des refroidisseurs. Et puisque les sorties D02, P01, P02 et R01 sont presque identiques on peut les étudier ensemble par la méthode AMDEC.

Un premier brainstorming était fait pour tirer toutes les causes possibles des fuites des manchettes, ces causes sont ensuite classées selon les 5 M comme suit :

Chapitre 3 : Etude critique des arrêts froids et chauds des unités sulfuriques

MatièreMilieuMatériel

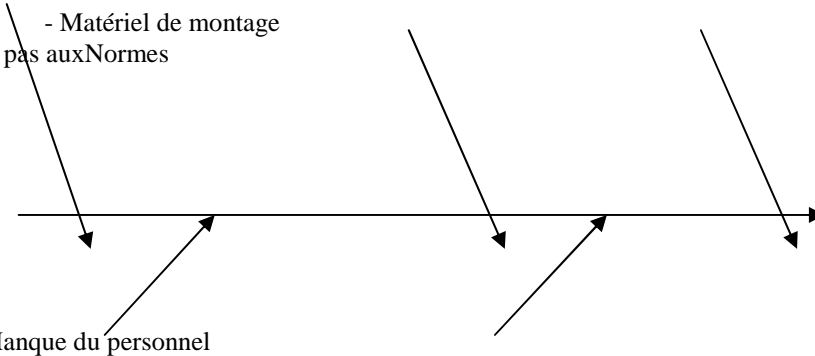
-La matière est en fonte - Milieu humide
-Elle s'erosse -Température très élevée
par contact avec l'acide vers 125 °C

- Matériel de montage
n'est pas auxNormes

Fuite d'acide

-Rien à signalé- demande une
Formation

- Manque du personnel



MéthodeMain d'œuvre

Figure 21: la méthode des 5M pour les manchettes by-pass des refroidisseurs

Le deuxième brainstorming nous a permis de tirer que le principale problème dans les manchettes by-pass est du principalement à la matière des manchettes, la matière actuelle des manchettes est la fonte chrome, la durée de vie de ces manchettes ne dépasse pas 6 ans, c'est pourquoi on a proposé d'utiliser des machettes en acier Mondi déjà montés sur d'autres unités depuis 1998, et elles sont jusqu'à aujourd'hui sans panne, ce qui prouve un durée de vie minimum de 15 ans.

1.2. Tuyauterie sortie D02, R01, P01 et P02

L'application de la méthode AMDEC pour les sorties P01, P02, R01 et D02 est résumée dans le tableau suivant :




ANALYSE DES MODES DE DEFAILLANCES, DE LEURS EFFETS ET DE LEURS CRITICITE										
SYSTE  uterie sortie D02, R01, P01 et P02						Date d'analyse :				
Sous ensemble	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				Actions
						F	G	D	C	
Bride	Raccordement de conduite	Fissuration cisaillement	Non-respect du couple de serrage	Fuite d'acide	visuel	4	3	1	12	- Changer la manchette. - Respecter le couple de serrage.
Joint entre bride	pour l'étanchéité	écrasement	non conforme	fuite d'acide	visuel	4	3	1	12	-changer le joint s'il est écrasé
Coude	changer la direction d'écoulement d'acide	corrodé	contact avec l'acide	fuite d'acide	visuel	2	5	4	40	-changer la matière du coude en acier Mondi

Figure 22: méthode AMDEC appliquée aux tuyauteries sortie D02, R01, P01 et P02

Après une réunion avec les membres du service, une anomalie est jugée critique si $C > 30$.

Cette étude nous montre qu'il faut :

- Respecter le couple de serrage indiqué (selon le diamètre et la matière) pour éviter toute

Chapitre 3 : Etude critique des arrêts froids et chauds des unités sulfuriques

fissuration ou cisaillement de la bride.

- Pour les joints entre brides, actuellement nous utilisons des joints de Téflons ont montré une grande résistance à l'acidité, le problème qu'on est un problème de méthode de montage qu'on va la détailler au chapitre qui suit.
- Changer la matière du coude en acier **Mondi**.

2. Pour le circuit gaz

Les études précédentes, les composants les plus critiques de ce circuit sont :

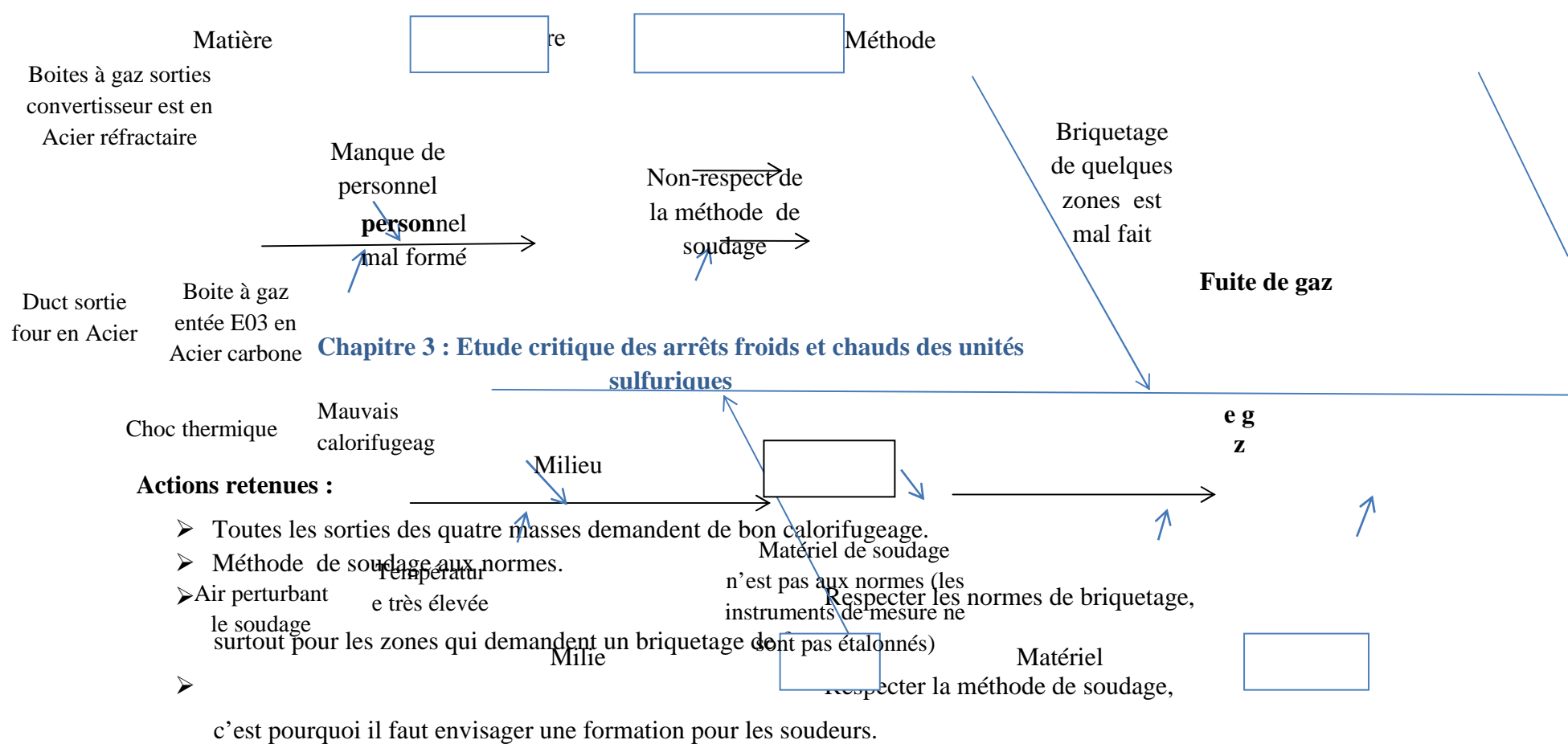


- boîtes à gaz sortie du convertisseur
- Duct sortie Four
- surchauffeur E01
- boîte à gaz entrée E03

Pour ce circuit on a organisé aussi deux brainstorming, le premier était pour tirer les pannes probables et les classées dans le diagramme d'Ishikawa, le deuxième pour filtrer les causes principales des fuites au niveau de ce circuit.

2.1 Boîtes à gaz sortie du convertisseur, Duct sortie four vers chaudière A et B et Boîte à gaz entrée E03

La méthode adoptée est de regrouper toutes les hypothèses, puis les classer selon les 5M, puis déterminer les actions retenues, après détection des causes critiques.



- Respecter l'ouverture des drains
chaque 8 heures, pour vider le résidu de l'acide.
- Envisager le remplacement de la
matière de la boîte à gaz par une autre en acier inoxydable.

4. Surchauffeur E01

Le surchauffeur est un échangeur tubulaire à courants croisés avec des tubes sous forme d'épingles, soudés les uns avec les autres en formant des serpentins, pourvus des ailettes. Sa fonction est de refroidir le gaz de procédé après la 1^{ère} couche au convertisseur par le surchauffage de la vapeur.



Figure 23: à
épingles. À
tubes à

Chapitre 3 : Etude critique des arrêts froids et chauds des unités
sulfuriques

droite : les
gauche : les
ailettes

Puisque le surchauffeur E01 est un système décomposable, on a choisi la méthode AMDEC pour chercher les anomalies qui l'affecte, et pour définir les actions à prendre.

4.1 Performances

- Cote calandre

Fluide : Gaz



Débit nominal total (Nm³/h) : 204 274
 Température d'entrée (°C) : 614 à 630 max
 Température de sortie (°C) : 420
 Pression du service entré (mmCE) : 3028

- **Coté tube**

Fluide : *Vapeur*
 Débit nominal total (Nm³/h) : 133
 Température d'entrée (°C) : 360
 Température de sortie (°C) : 500
 Pression du service entré (bar) : 62,7

Chapitre 3 : Etude critique des arrêts froids et chauds des unités sulfuriques

4.2 Analyse fonctionnelle

Diagramme Bête à Cornes

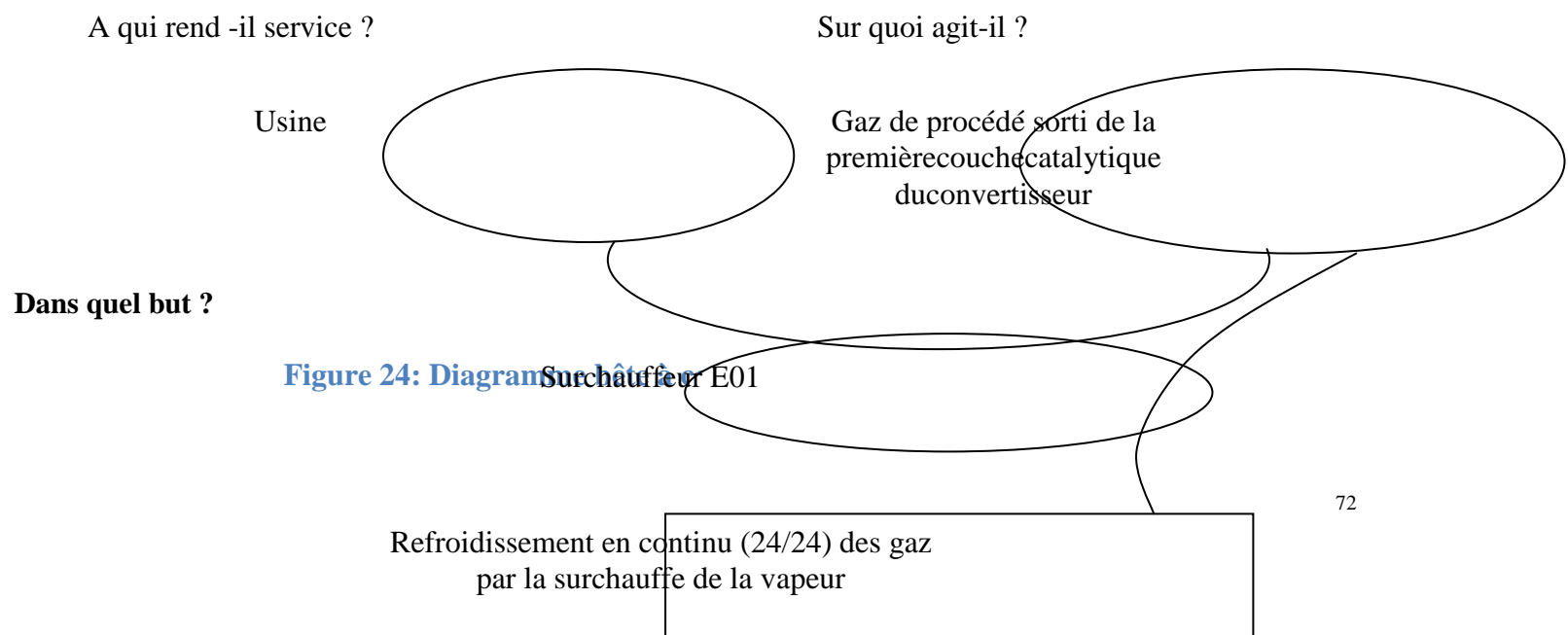


Figure 24: Diagramme Surchâuffeur E01



Diagramme Pieuvre

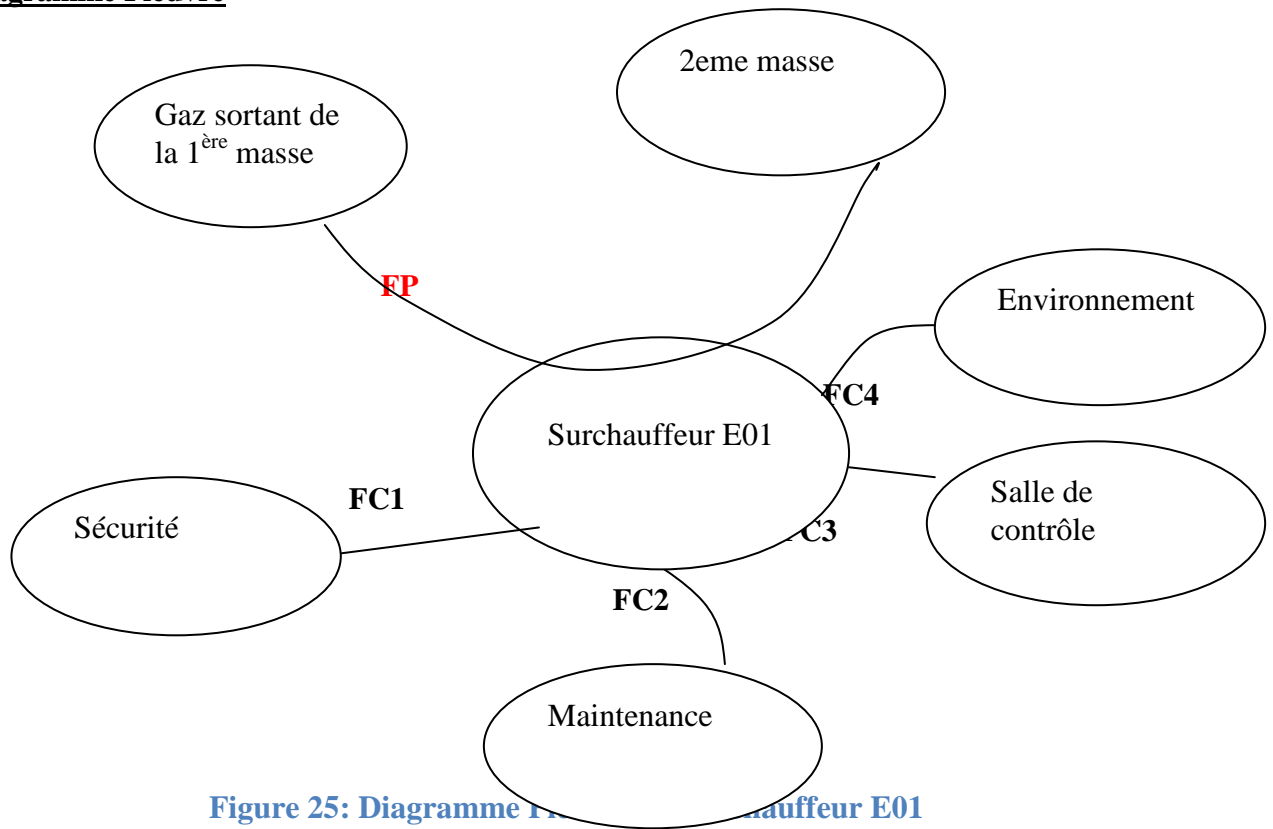


Figure 25: Diagramme Pieuvre du Surchauffeur E01

Tableau des fonctions principales et des fonctions contraintes :

Tableau 9: Fonctions principales et fonctions contraintes surchauffeur E01

Fonction	Libellé
FP	Refroidissement du gaz sortant de la 1 ^{ère} masse pour avoir une température de 420°C à l'entrée de 2eme masse.
FC	Ne pas présenter des dangers, ni pour les autres équipements ni pour le personnel.
FC2	Etre facilement maintenable.

Chapitre 3 : Etude critique des arrêts froids et chauds des unités sulfuriques

FC3	Etre supervisé à distance.
FC4	Contribuer au respect de l'environnement.

Construction du FAST

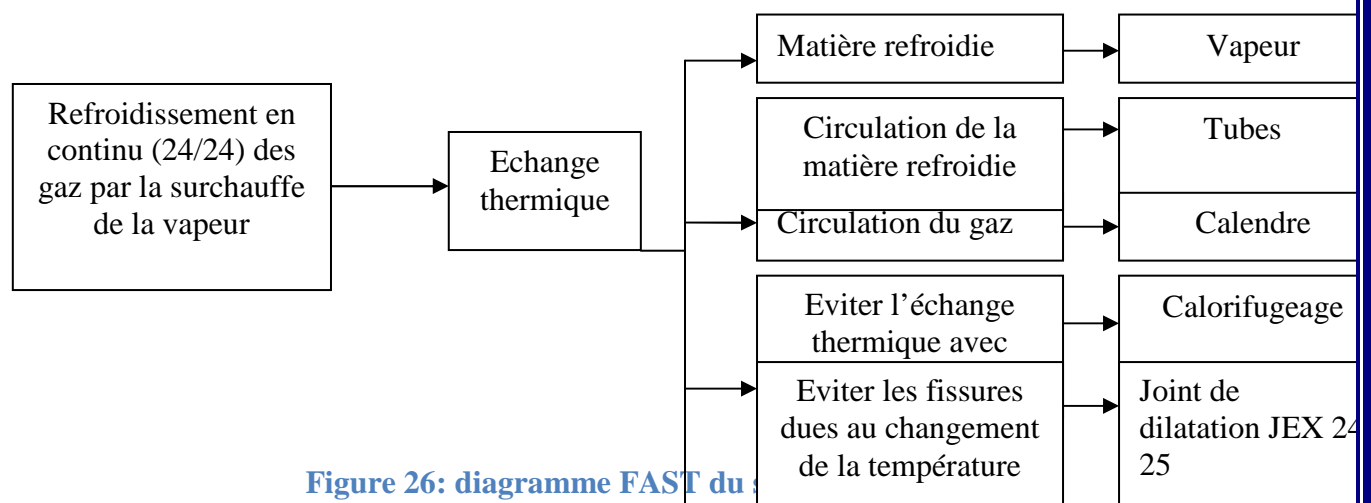


Figure 26: diagramme FAST du

Chapitre 3 : Etude critique des arrêts froids et chauds des unités sulfuriques

Grille AMDEC :

ANALYSE DES MODES DE DEFAILLANCES, DE LEURS EFFETS ET DE LEURS CRITICITE										
SYSTEME : Surchauffeur E01						Date d'analyse :				
Sous ensemble	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				Actions
						F	G	D	C	
Calendres	Echange thermique par refroidissement du gaz	Fuite externe du gaz	Vieillessement -Ecaillage corrosion	Dégradation de l'équipement Et fuite de gaz	visuel	1	3	2	6	-Soudage de la calendre Métallisation à l'intérieur
		Dégradation de l'épaisseur	Ecaillage							
Tubes	Circulation de la vapeur	bouchage	encrassement	Mauvais échange	Variation des paramètres de marche	1	2	2	4	Nettoyage chimique + Changement



Calorifuge	Assure l'isolation	Echange thermique avec l'extérieure	-Epaisseur n'es pas suffisante -dégradation du calorifuge ou vieillissement	Choc thermique + Mauvais échange + fuite de gaz	Variation des paramètres de marche	3	4	1	12	Changement du calorifuge
Joint de dilatation JEX 24 25	Assure la dilatation du duct	Fuite De gaz	Dégradation de son épaisseur	Fuite de gaz	Variation des paramètres de marche	3	3	2	18	Méthode de Soudage n'est pas conforme Calorifugeage

Figure

27:

Chapitre 3 : Etude critique des arrêts froids et chauds des unités sulfuriques méthode AMDEC appliquée au surchauffeur E01

Après une réunion avec les membres du service, une anomalie est jugée critique si $C > 10$.

Cette étude nous montre qu'il faut :

- Changement du calorifugeage
- Soudage du duct

Conclusion :

Dans ce chapitre, on a commencé par planifier l'arrêt froid de l'unité 01Z, puis on a attaqué les arrêts chauds, d'abord on a cherché les circuits critiques puis les composants les plus touchés par la méthode ABC, enfin on a utilisé les deux méthodes ISCHIKAWA et AMDEC pour définir les causes racines.



Chapitre 4 :

Etude technoeconomique

Introduction:

Dans ce chapitre, on va chercher le cout d'investissement pour mettre en place les solutions proposées, puis on a calculé le gain récupéré dans deux ans, et enfin on a cherché le temps de retour d'investissement.

I. Coût de mise en place des solutions

1. Pour le circuit gaz

1.1 Briquetage par la chamotte

La chamotte, ou tesson broyé, est une argile brute cuite à une température de 1300 - 1400 °C, broyée et tamisée (pour contrôler la granulométrie des grains obtenus).

La terre chamottée est une terre lisse dans laquelle s'ajoute de la chamotte. Dans certains cas, l'argile peut être mélangée avec du sable de rivière si l'on ne dispose pas de chamotte.

La chamotte est utilisée pour la fabrication de briques réfractaires. Elle est mélangée à de l'argile broyée. En mouillant ce mélange on obtient une pâte plastique dont on peut façonner les briques; ce mélange est ensuite séché et cuit. Les briques sont ainsi rendues résistantes à l'eau.

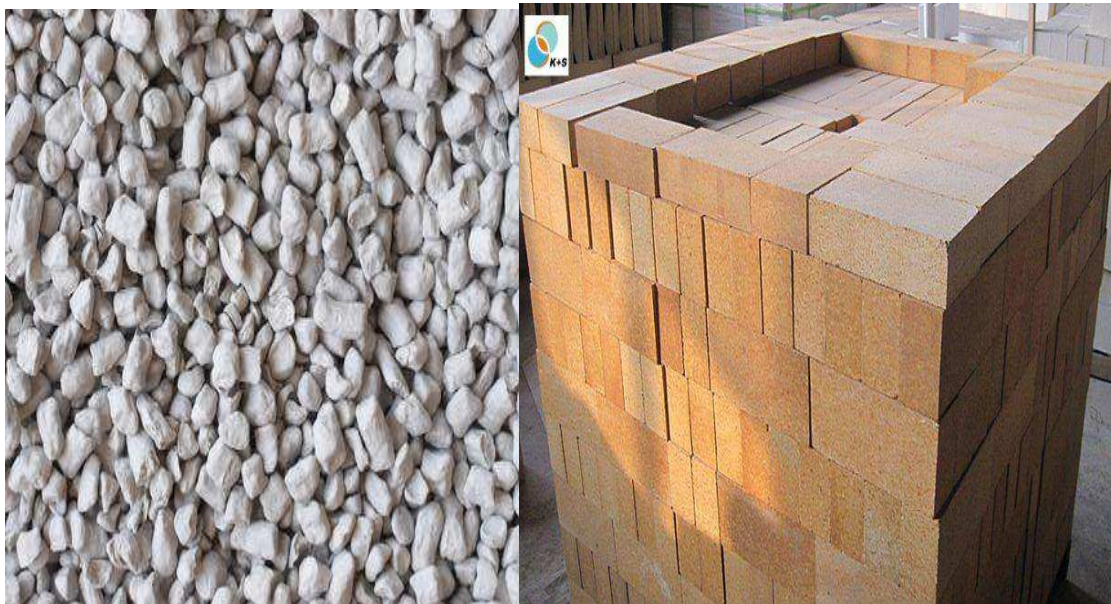
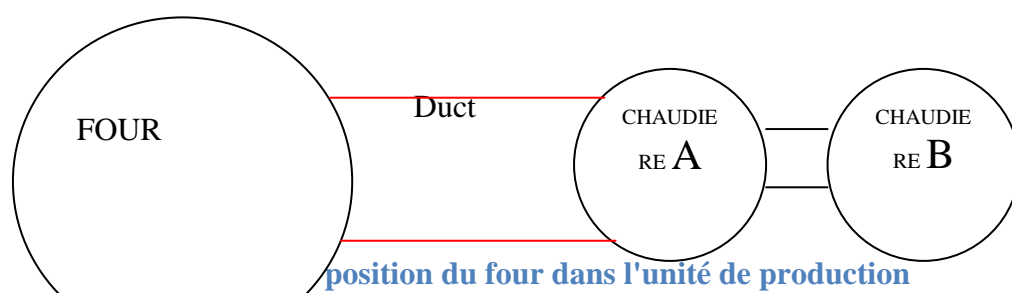


Figure 28: à droite : Briques de chamotte. à gauche : la chamotte

On a contacté le service génie civil, on a renseigné que le prix du briquetage est de 25 000 DH/m³.

Chapitre 4 : Etude technicoéconomique

Le duct sortie four relie le four et la chaudière, il est de forme cylindrique.



position du four dans l'unité de production

Un duct se caractérise par la dimension

Longueur : 10 m

Diamètre interne : 3,3m

Diamètre externe : 3,6 m

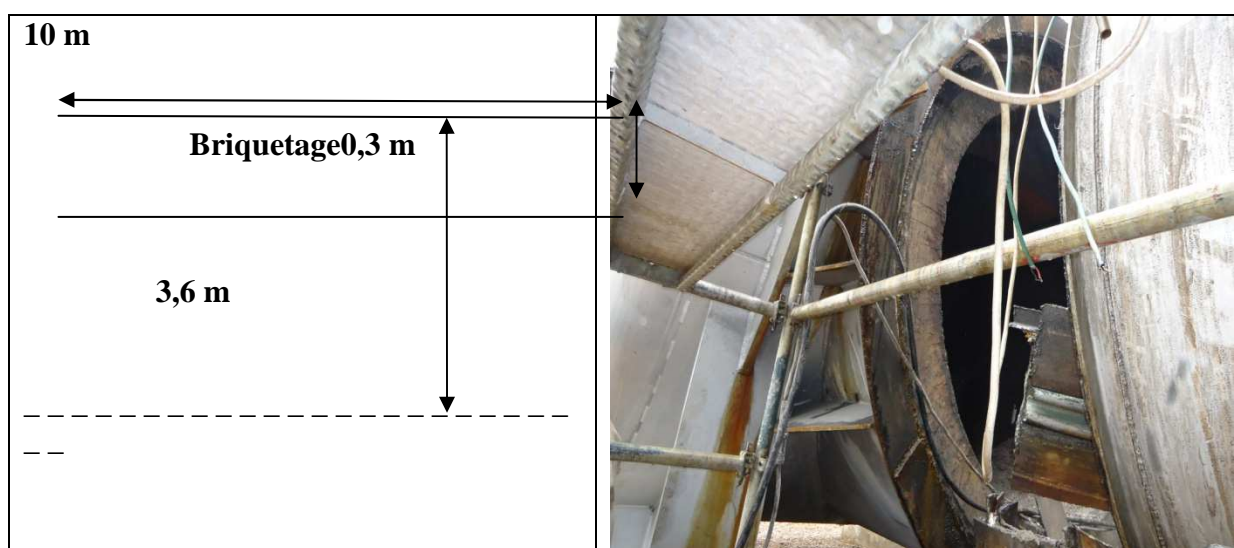


Figure 30 :

Chapitre 4 : Etude technoeconomique

briquetage en duct et ses démentions

$$V = \pi * (3,6^2 - 3,3^2) * 10$$

$$= 65 \text{ m}^3$$

$$\text{Prix de briquetage pour 6 ducts : } 65 * 25\,000 * 6 = 9\,750\,000 \text{ DH}$$



1.2 Calorifuge par la laine de roche

La laine de roche est un matériau naturel né de l'activité volcanique et du savoir-faire humain, utilisé dans le bâtiment comme isolant thermique, isolant phonique ou absorbant acoustique, ou pour la protection contre l'incendie.

La laine de roche procéderait de l'observation des longs filaments formés par la lave du volcan Kīlauea (archipel d'Hawaï).

La laine de roche a d'excellentes propriétés :

- D'isolation thermique. Grâce au grand nombre de cellules d'air concentré dans sa structure, la laine de roche possède un pouvoir isolant important.
- D'Isolation phonique et d'absorption acoustique. La structure ouverte et enchevêtrée de la laine de roche dissipe naturellement l'énergie sonore : elle est aussi performante pour lutter contre les bruits aériens, les bruits d'impact ou les bruits d'équipements.
- de protection incendie. Les solutions d'isolation en laine de roche résistent au feu et ne contribuent pas à son extension. Pour le critère de comportement au feu, la laine de roche nue bénéficie de l'Euroclasse A1, la meilleure performance dans la classification européenne des produits de construction. La laine de roche ne s'enflamme pas, ne propage pas les flammes et ne dégage pas de fumées toxiques.
- De résistance à l'eau. La laine de roche est hydrophobe.
- Grâce à sa structure non capillaire, la laine de roche ne fait pas plus écran au passage de la vapeur d'eau qu'elle ne craint les infiltrations de pluie ou de neige : l'eau ruisselle à sa surface. La laine de roche est imputrescible. Elle n'est pas propice au développement des microorganismes.
- de résistance aux termites. Matériau d'origine minérale, la laine de roche n'apporte aucune nourriture aux insectes. C'est une barrière naturelle contre le développement des colonies de termites.
- De propriétés mécaniques. Durable, inerte et stable, elle conserve toutes ses caractéristiques mécaniques dans le temps.

Chapitre 4 : Etude technoeconomique

- Ces propriétés sont dépendantes de la qualité du produit, les laines minérales présentent un effet de tassement avec le temps.



Figure 31: La laine de roche

On a contacté l'entreprise responsable du calorifugeage des équipements à l'OCP, elle nous a informé que le prix de calorifugeage en laine de roche est de 450 DH/m².

Le schéma suivant montre les entrées sorties de convertisseur :

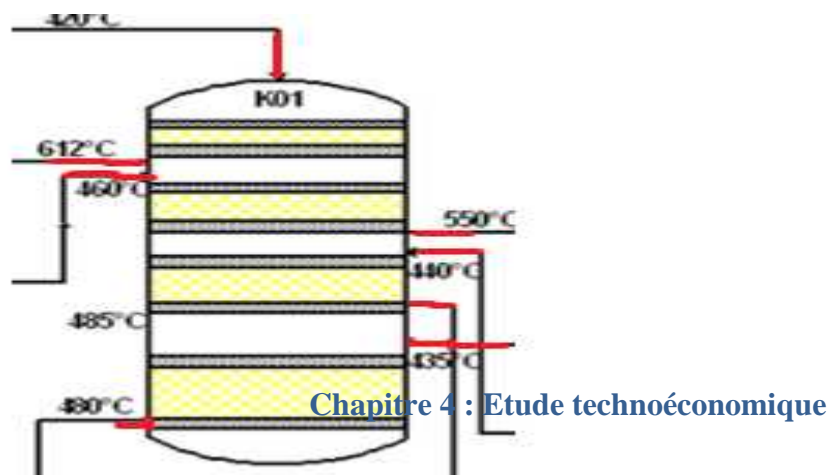


Figure 32: les entrées sorties de convertisseur qui demandent le calorifugeage

Une boîte à gaza pour surface : 60 m².

L'inspection des convertisseurs des 6 unités :

- A : bien calorifuger
- B : à refaire le calorifugeage
- C : à refaire le calorifugeage
- X : à refaire le calorifugeage
- Y : à refaire le calorifugeage pour 2 boîtes à gaz
- Z : bien calorifuger

En total on doit refaire le calorifugeage pour 26 boîtes à gaz ;

Prix calorifugeage :

$$(450*60)*26 = 702\ 000\ \text{DH}$$

1.3 Pour le soudage

On propose aussi une méthodologie à respecter pour bien intervenir au niveau des fuites de gaz :

Méthodologie à suivre pour bien intervenir dans une fuite de gaz

Déclaration fuite de gaz :

Etablissement de la DI (demande d'intervention) par le service production.

Installation de l'échafaudage :

Etablissement de l'OT (ordre de travail) fils par BDM (bureau de méthode).



Chapitre 4 : Etude technoeconomique

Programmation de l'arrêt de l'unité (j-2) :

Tenir une réunion après une tournée à l'unité concernée (BDM ; PS ;MM; MG)

Arrêt de l'unité :

Procédure d'arrêt (PS)

Suite de l'installation de l'échafaudage

Décalorifuge partiel de la zone fuyarde

Nettoyage de la zone fuyarde :

Prestation à réaliser par PS

Détection de la fuite de gaz :

Si la fuite n'est pas détectée, redémarrage de l'unité et localisation de la fuite.

Relevé de l'épaisseur :

- *Assurez-vous que l'appareil est étalonné
- * Utiliser un couplant ou un Gel glycérine standard requis pour la température de l'équipement qui va être inspecté.
- * Prendre des mesures d'épaisseur autour de la zone de la fuite.
- *L'épaisseur acceptée pour le soudage doit mesurer au minimum 5 mm.
- *Communiquer les cotes pour le découpage de la tôle de blindage

Préparation de la tôle de blindage du même métal que la nuance de celle avariée et suivant les dimensions, déclaré par BDM :

- * Découpage de la tôle suivant les dimensions déclarées, et d'une épaisseur mini de 8mm;
- * Perçage de 01 ou 02 trous de dégazage (diamètre 06 ou 08) mm sur la tôle découpée.

Présentation de la tôle découpée et soudure de celle-ci :

Chapitre 4 : Etude technoeconomique

*Utilisation des électrodes appropriée:

*8018-B2 pour les BAG 4ème 3ème et 2ème masse

*8018-B6 pour BAG 1ère masse et le surchauffeur E01



*Souder la plaque par étape, en appliquant le métal de soudage autour de la plaque de 30% à 40% sur la longueur d'un côté puis de l'autre côté pour aider à réduire l'effet de la température et les déformations du métal de la plaque. Adapter la plaque hermétiquement à la conduite permettant au gaz de s'échapper à travers l'évent. Terminer la soudure autour de la plaque suivant les étapes décrites précédemment.

Bouchage des trous d'évents :

Remplir les trous par soudure s'assurer que la tôle de blindage est soudées sur la tôle mère a travers ces orifices.

Démarrage de l'unité :

Procédure d'arrêt (PS)

Re-calorifuge après démarrage concluant

2. circuit acide

2.1 Changement du circuit acide

Sablage et métallisation

Le sablage est une technique industrielle de nettoyage des surfaces en utilisant un abrasif (sable spécial) projeté à grande vitesse à l'aide d'air comprimé au travers d'une buse, sur le matériau à décaper il :

- Décape, désoxyde, enlève une couche superficielle fragile (peinture par exemple).
- Crée une rugosité, qui facilite l'accroche d'un revêtement, ou donne un aspect à un moule pour pièces en plastique, c'est une bonne préparation avant peinture.

Dans les installations industrielles la métallisation est plus complexe, car il faut étudier séparément tous les éléments soumis à un milieu corrosif. C'est à dire connaître le produit et son contenant (réservoir, vannes ou tuyauteries) pour déterminer avec exactitude le revêtement adéquat. Il faut aussi prendre en compte :

Chapitre 4 : Etude technoeconomique



Les contraintes de travail et leurs variations (vitesse, pression, température) qui influent aussi sur son comportement.

Lorsque le revêtement choisi est cathodique par rapport à l'acier de construction, il devra être à la fois étanche et épais. Cette épaisseur, doit tenir compte de la température de fonctionnement, qui engendre des dilatations. Les coefficients de dilatation du support et du revêtement doivent être compatibles, de même que celui de la conductibilité thermique. Pour améliorer la progression du coefficient de dilatation, on peut superposer des couches de différents métaux, ce qui entraînera aussi une amélioration de l'accrochage du revêtement.

Mais la métallisation reste une solution pour protéger le circuit du milieu extérieur, c'est pourquoi il est recommandé de changer la matière du circuit, en une autre plus résistive à l'acidité.

En fait, de ce côté, le groupe OCP a déjà lancé des projets de renouvellement du circuit acide de toutes les unités sulfuriques en adoptant un acier Mondy breveté par l'entreprise canadienne NORAM, le contact de cette dernière a estimé que le remplacement de toute les 6 circuits acides va couter environ 700 000 €. Ce qui est équivalent 77 000 000 DH.

2.2 Méthodologie à suivre pour bien monter un joint entre brides

- Desserrage des boulonnes.
- Enlèvement de la moitié des boulonnes, pour éviter le décalage des deux brides.
- Ecartement de la bride.
- Extraction d'ancien joint.
- Nettoyage des plans des joints.
- Contrôle du parallélisme des brides.
- Contrôle du jeu entre brides.
- Contrôle des plans des joints par mesure (rechargement et surfaçage si nécessaire).
- Contrôle d'état des boulonnes (changement ou entretien si nécessaire).
- Remise du nouveau joint.
- Serrage des boulonnes (respectant le couple de serrage doit être équidistant).



Le total de toute les investissements concernant les deux circuits gaz et acide vaut :

Tableau 10: cout des investissements au niveau des circuits gaz et acide

Briquetage par la chamotte	9 750 000 DH
Calorifuge par la laine de roche	702 000 DH
Remplacement du circuit acide	77 000 000 DH
Total	87 452 000 DH

II .Calcul du gain

Une panne subite au niveau des lignes sulfuriques cause la non production de l'acide sulfurique concentré H_2SO_4 , de la vapeur MP et la vapeur HP. Chaque ligne de production produit durant une heure les quantités suivantes :

- L'acide sulfurique H_2SO_4 : 116 Tmh
- Vapeur HP : 82 tonnes
- Vapeur MP : 58 tonnes

Pour ce qui est de la vapeur : 4.5 tonne de la vapeur HP produit 1Mwh d'énergie électrique alors que 6.5 tonne de la vapeur MP produit 1Mwh. Le prix du Mwh est de 454 Dh.

Donc la production de chaque unité par heure est de :

- L'acidesulfurique H_2SO_4 : 116 Tmh
- Vapeur HP : $82 / 4.5 = 18.23$ Mwh
- Vapeur MP : $58 / 6.5 = 8,93$ Mwh



Chapitre 4 : Etude technoeconomique

Tableau 11: prix unitaire de l'acide produit , la vapeur MP et HP.

Elément produit	Unité	Prix de l'unité DH
Acide sulfurique H ₂ SO ₄	Tmh (tonne monohydrate)	635
Vapeur MP	Mwh	454
Vapeur HP	Mwh	454

Les reviens d'une heure de production sont de :

$$116*635 + 18,23*454 + 8,93*454 = 73\,660 + 8276,42 + 4054,22 = 85\,990,64 \text{ DH}$$

Puisque on va régler les pannes concernant du circuit acide à 100%, et 84,34 % de celles concernant le circuit gaz la marge bénéficiaire perdue lors des arrêts causés par les fuites au niveau des deux circuits, durant les 2 années prochaines est :

Tableau 12: gain par chaque unité pendant les deux années prochaines

	01A	01B	01C	01X	01Y	01Z
Total HA	234,55	476,08	267,93	287,68	184,85	350,12
% du temps d'arrêt gagné (circuit acide)	36,48	16,83	12,43	25,22	43,83	0,00
% du temps d'arrêt gagné (circuit gaz)	12,24	21,90	22,47	28,31	23,05	11,23
Heures d'arrêt gagnées	109,78	168,06	84,09	141,24	116,96	33,16
Gain en DH par unité	9 440 052,46	14 451 586 ,96	7230952,92	12145 318,00	10057465,25	2 851 449,62

$$\text{Heures d'arrêt gagnées (ex 01A)} : (36,48\% * 234,55 * 100\%) + (12,24\% * 234 * 84,34\%) = 109,78$$

La marge bénéficiaire totale est de :

$$9\,440\,052,46 + 14\,451\,586,96 + 7\,230\,952,92 + 12\,145\,318,00 + 10\,057\,465,25 + 2\,851\,449,62$$

$$= \mathbf{56\,176\,825,21 \text{ DH}}$$

III. Temps de retour sur investissement

Gain en deux ans : 56 176 825,21 DH

Total des investissements : 87 452 000 DH



$$X = (82\,452\,000 * 2) / 56\,176\,825,21$$

$$X = 2,93 \text{ ans}$$

Le temps de retour sur investissement est presque 3 ans.

Conclusion

Après avoir contacté les entreprises responsables on a calculé le coût d'investissement des solutions proposés, l'application de ces actions amélioratives va encaisser environ 56 MDH dans deux ans, le temps de revient d'investissement est dans 3 ans.

Conclusion

Suite à l'accroissement de nombre des arrêts chauds, et de la longue durée consacrée aux arrêts froids. La production de l'acide sulfurique est diminuée ainsi que la vapeur nécessaire pour la production d'énergie électrique.



Dans ce sens mon projet de fin d'étude avait comme objective l'étude des arrêts chauds et les arrêts froids. Le 1er chapitre est une description générale de l'entreprise et ces activités économiques Dans Le 2ème chapitre j'ai fait une description de procédé de fabrication de l'acide sulfurique. Le 3ème chapitre comprend une étude bibliographique. Le 4^{ème}, on a essayé de proposer une planification des arrêts froids, puis on a traité les arrêts chauds enfin nous avons proposé des actions amélioratives, et Le dernier chapitre était consacré pour une étude technoeconomique de ces actions.

Il est recommandé d'organiser de façon systématique des formations pour sensibiliser le personnel sur l'importance de respect des normes d'interventions mécaniques, électriques et de soudage, Pour les nouveaux projets d'extension, il est recommandé d'installer des circuits acide en Acier Mondy,

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Manuel des caractéristiques techniques des équipements sulfurique**



- -<http://jc.castaing.free.fr>
- -Documentation MITSU (manuel d'exploitation)
- -<http://www.techniques-ingenieur.fr/>
- -<http://fr.wikipedia.org>
- -<http://www.surfatec.org/fr/traitements/lanticorrosion>
- -Volume 8.2 tuyauterie
- -Volume 5 tuyauterie

Annexe 1

ARRET FROID U01Z – Mars 2013 Disponibilité des pièces de rechange

Circuit	Equipement	Disponibilité	OBS	Ref
CIRCUIT ACIDE	Bac R01 R02			
	Révision des pompes	01 pompe T08 et	PARC MM	



d'acide	02 pompes T10		
Conduites plongeante R01	NON	Attente Approbation DA N° 2008 + ACX en 310	DA N° 2008
Conduites plongeante R02	NON	Attente Approbation DA N° + ACX en 310	
Défecteur R01	ACX	DI 1019372	
Défecteur R02	OK	PARC MM	
Canne de dilution R01	Attente Commande	Attente Commande+ (ACX DI:1020992)	AO 9923 GOUJDAD (29.71)
Canne de dilution R02	NON/ACX	Inox, bout PTFE (ACX DI:1020994)	
Vanne DN 100 pour vidange du bac, IP04, Chargement du citren	OK	LM/L	
Vanne DN 250 pour liaison entre Bac R01 et R02	OK	LM/L	
Manchon du fond et latéral du bac R01	OK	LM/L	
Manchon du fond et latéral du bac R02	OK	LM/L	
TOUR DE SECHAGE			
Eliminateurs de brume	PS	NON	MEZROUI (ACTIVITE)
Boulons M12*50	Attente choix	Achat	AO 10805 SOUFIAN (3104)
Ruban en téflon	OK	Magasin secondaire	
Vanne DN 40 pour vidange du siphonage	Attente livraison	Casa mazot	CMD 11202 0661467123
TOUR D'ABSORPTION INTERMEDIAIRE			
Eliminateurs de brume	PS	NON	MEZROUI (ACTIVITE)
Boulons M12*50	Attente choix	Achat	AO 10805 SOUFIAN (3104)
Ruban en téflon	OK	Magasin secondaire	



Vanne DN 40 pour vidange du siphonage	Attente livraison	Casa mazot	CMD 11202 0661467123
TOUR D'APSORPTION FINALE			
Eliminateurs de brume	PS	NON	MEZROUI (ACTIVITE)
Boulons M12*50	Attent choix	Achat	AO 10805 SOUFIAN (3104)
Ruban en teflon	OK	Magazin secondaire	
Vanne DN 40 pour vidange du siphonage	Attente livraison	Casa mazot	CMD 11202 0661467123
REFROIDISSEURS D'ACIDE			
Boulons pour boites à eau M20*180	OK	LM/L	
Caoutchouc pour PV	OK	LM/L	
Joints pleins pour test	OK	Atelier MM	
Plaques en zinc	Attente livraison	ISODEL	CMD 11715 0522408295/ 96
Vanne DN 50 AZAHI reniflard, vidange cote eau de mer	Attente livraison	Casa mazot	
Vanne DN 15 pour trop plein	Attente livraison	Casa mazot	
Vanne DN 20 pour trop plein	Attente livraison	Casa mazot	CMD 11202 0661467123
Vanne DN 25 pour PH mètre	Attente livraison	Casa mazot	
Vanne DN 40 pour by pass	Attente livraison	Casa mazot	
Vanne DN 80 pour vidange	Attent livraison	Casa mazote	
TETRI-METRES AR303-304			
tubes, tés, coudes, manchons en inox	Société	Achat	AO 11034
Vanne DN 25	Attente livraison	Casa mazot	CMD 11202 0661467123
Té DN 500 pour modification des circuit AR303	ACX	DI 1019528	
Té DN 400 pour modification des circuit	ACX	DI 1019520	



AR304				
Regard	NON	DA en 2009_AO en 2010	AO N° 7987 GRISSEN	
TUYAUTERIE ACIDE				
Suivant état (Relever d'épaisseur)	OK- ACX	Rapport CTTI		
Circuit eau de mer				
Vanne DN 800 pour filtre eau de mer	Révision	Renouvellement en cours		
Conduite de dégazage en SVR	Phosphorique/bur eau d'étude	Plan d'iso avec brides (DI1021910)		
Brosse métallique pour panier du filtre eau mer	NON	??????		
Autres				
Joint en téflon DN 15 à 700	OK	Dépend de l'état tuyautrie		
Soudeur				
Tôle perforée en 316L Ep 4mm/5mm pour silencieuse	OK	LM/L		
SOUDEUR	Tôle de blindage en ADX Ep 6mm	OK	LM/L	
	Tôle de blindage en ADX Ep 8mm	OK	LM/L	
	Tôle de blindage en ADX Ep 10mm	OK	LM/L	
	Tôle de blindage en ADX Ep 12mm	OK	LM/L	
	Tôle de blindage en ADX Ep 15mm	OK	LM/L	
	Tôle de blindage en ADX Ep 20mm	OK	LM/L	
	Tôle de blindage en 316L Ep 6mm	NON	AO	AO N°10945
	Tôle de blindage en 316L Ep 8mm	OK	LM/L	
	Tôle réfractaire Ep 6mm	DENHI		
	Tôle réfractaire Ep 8mm	DENHI		
	Tube en 316L DN3/4"	DENHI		
	Tube en 316L DN1/2"	DENHI		



Tube en 316L DN1"	DENHI		
Tube en 316L DN40	DENHI		
Tube en 316L DN50	OK	LM/L	
Tube en 316L DN80	OK	LM/L	
Tube en 316L DN100	OK	LM/L	
Tube en 316L DN150	OK	LM/L	
Bride en 316L DN3/4"	DENHI		
Bride en 316L DN1/2"	OK	Magasin secondaire	
Bride en 316L DN1"	OK	Magasin secondaire	
Bride en 316L DN40	OK	Magasin secondaire	
Bride en 316L DN50	OK	Magasin secondaire	
Bride en 316L DN80	OK	Magasin secondaire	
Bride en 316L DN100	OK	Magasin secondaire	
Bride en 316L DN150	DENHI		
Coude en 316L DN3/4"	DENHI		
Coude en 316L DN1/2"	DENHI		
Coude en 316L DN1"	DENHI		
Coude en 316L DN40	DENHI		
Coude en 316L DN50	DENHI		
Coude en 316L DN80	DENHI		
Coude en 316L DN100	OK	LM/L	
Coude en 316L DN150	DENHI		
Té DN 1"	DENHI		
Vanne < 2" 800	OK	Magasin secondaire	
Vanne < 2" 1500	OK	Magasin secondaire	



	Electrode 7018 ϕ 2	MIN/MAX	à réserver	
	Electrode 7018 ϕ 3	MIN/MAX	à réserver	
	Electrode 8018 ϕ 2	MIN/MAX	à réserver	
	Electrode 8018 ϕ 3	MIN/MAX	à réserver	
	Electrode 310L ϕ 2	MIN/MAX	à réserver	
	Electrode 310L ϕ 3	MIN/MAX	à réserver	
	Electrode 312L ϕ 2	MIN/MAX	à réserver	
	Electrode 312L ϕ 3	MIN/MAX	à réserver	
	Electrode 316L ϕ 2	MIN/MAX	à réserver	
	Electrode 316L ϕ 3	MIN/MAX	à réserver	
	Disque à tronçonner Dia 230	MIN/MAX	à réserver	
	Disque à tronçonner Dia 125	MIN/MAX	à réserver	
	Disque à ébarber Dia 180	MIN/MAX	à réserver	
	Disque à ébarber Dia 125	MIN/MAX	à réserver	
CIRCUIT ENERGETIQUE	Vanne V12	OK	PARC MM	
	vanne V22 (joint annulaire)	Révision		
	Niveaux à glace	OK	PARC MM	
	soupapes de serruté SV01	OK	PARC MM	
	soupapes de serruté SV02	OK	PARC MM	
	soupapes de serruté SV03	OK	PARC MM	
	soupapes de serruté SV04	Révision après démontage	ARFI	CJM-7029J/09
	soupapes de serruté SV05	Révision après démontage	ARFI	
	soupapes de serruté SV06	Révision après démontage	ARFI	
soupapes de serruté SV07	Révision après démontage	ARFI		



	soupapes de serruté SV08	Révision après démontage	ARFI	
	soupapes de serruté SV09	Révision après démontage	ARFI	
	soupapes de serruté SV10	Révision après démontage	ARFI	
	soupapes de serruté SV11	Révision après démontage	ARFI	
	joints pour soupapes	OK	Magasin secondaire	
	joints pour PV sup, inf et latérales des chaudières	OK	Magasin secondaire	
	joints pour DH01-02	OK	Magasin secondaire	
	tresses pour vannes	OK	Magasin secondaire	
CIRCUIT GAZ	CHAUDIÈRES DE RECUPERATION			
	Encrages pour chamotte	OK	Atelier MM	
	ECONOMISEUR E04-E05-E03-E01-E16-K01-S02-caissons			
	Sablage et métallisation	AO N° CJM-1252/12M	Achat (Marché)	
	FOUR			
	Visières	OK	à réserver	
	bruleurs	Attente livraison	SEM, reste Choix de buses (Achat)	CMD 11156 SEM
	Buses	Attente offre	Achat	AO 9997 MAHBOUB
	Vanne du bruleur a soufre	OK	Magasin secondaire	
	CONVERTISSEUR			
	Grilles et colonnes pour 1ère masse	OK	LM/L	
	Grilles et colonnes pour 2ème masse	NON	Suivant état (partiel) des colonnes	
	ROBINETTERIE A GAZ			
	Vannes pour drains de gaz	Révision		
	vannes des regards	Révision		
	vannes de prise de gaz	Révision		
ECHANGEURS A GAZ E02 / 03				



Tubes pour E03	OK	LM/L	
Chicane pour E03 (tôle ep 08)	Confection/MERSE N	LM/L pour la Tôles	
JOINTS DE DILATATION			
Joint JEX 04	OK	Atelier MM	
Joint JEX 05	OK	Atelier MM	
Joint JEX 06	OK	Atelier MM	
Joint JEX 39	Attente offre	Achat	AO 11220
Joint JEX 49	Attente offre	Achat	
Joint JEX 50	Attente offre	Achat	
Joint JEX 24	Attente offre	Achat	
Joint JEX 25	Attente offre	Achat	
Vannes à gaz HSV et GV			
Feuille en Klinger Ep 03mm	OK	Magasin secondaire	
Tresses pour vannes	OK	Magasin secondaire	
Plateau pour HSV603	ACX / attente livraison	Prof inox	CMD 11644
vanne HSV 601 à 608	Révision		
vanne GV01 à 09	Révision		
Confection du silencieux	ACX	DI 1019531	
Réducteur de la vanne GV03	Attente Approbation	Achat	DA N° 2024
Réducteur de la vanne GV04	Attente Approbation	Achat	



Annexe 2

Situation des dossiers pour l'arrêt froid de l'U01Z - Exercice 2013

Liste des principales prestations	Matières et prestations	Recommandations
Rebutage partiel de l'échangeur E03	Marché 8606J/10 (MERSEN) tubes disponibles Prévoir confection portion de chicane (pour les 500 tubes)	
Remplacement du bac de circulation d'acide IR02	SCIF	
Travaux de réfection de la métallisation aluminium au niveau du circuit gaz	AO N° CJM-1252/12M	Active le traitement de la AO N° CJM-1252/12M
Remplacement des joints de dilatation (JEX04-05-06-24-25-49-50-21)	Marché 9055J (CIVINOX) Marché CJM-11696J/12 (GM EQ) <u>Matière:</u> JEX06-25-04-05-40-21 disponibles JEX24-50 encours d'achat, (DA: 15864)	
Travaux de révision mécanique unité sulfurique	GM équipement (cde CJM-1074/11M)	
Turbosoufflante	Equilibrage rotor soufflante: CDE CJM10462J/11 du 03/05/11 (CBE) Attente arrivage du rotor en révision chez KOKUZAI	A activer l'arrivage du rotor (KOKUZAI)
Travaux de maintenance mécanique et de soudage lors des arrêts chauds	Marché CJM 10847J/11 du 01/08/11 (OXYCOUPE)	



Travaux de maintenance mécanique et de soudage lors des arrêts froids	Marché CJM 11233J/11 du 01/08/11 (Cometalaux)	
Mesure des épaisseurs	Marché CJM 94J/10 (CTTI)	
Contrôle par courant de Foucault	Marché CJM 10401J/11 (BCI)	
Rebutage du refroidisseur E09	191 Tubes disponible (ELABORATION DU DT ENCOURS)	ATTENTE ACCORD PAR LA DERICTION SUPPORT (DIB SUR IMPREVU)
Réfection des passerelles	AO N° CJM1433	Active le traitement de la AO N°
Révision des soupapes	CJM 7029J/09 (ARFI)	
Remplacement des grilles et colonnes 1er masse	inclus dans le marché de révision des 03 unités (GM EQ)	

Annexe 3

Pour l'unité 01B :

cause d'arrêts hors externe	% HAE par ordre décroissant	CUMUL en %
gaz-fuite	21,90%	21,90%
acide-tuyauterie	16,83%	38,73%
acide-refroidisseurs	13,16%	51,89%
turbine	11,71%	63,60%
Process	9,23%	72,83%
gaz-joint dilatation	7,77%	80,60%
acide-autres	5,22%	85,82%
gaz-autres	4,78%	90,60%
gaz-autres	4,70%	95,30%
soufre-ppes	2,51%	97,81%
acide-ppes	1,01%	98,82%
soufre-autres	0,81%	99,63%
eau de mer	0,37%	100,00%
TS-ppes	0,00%	100,00%

Tableau 13: tableau résumant la méthode ABC pour l'unité 01B

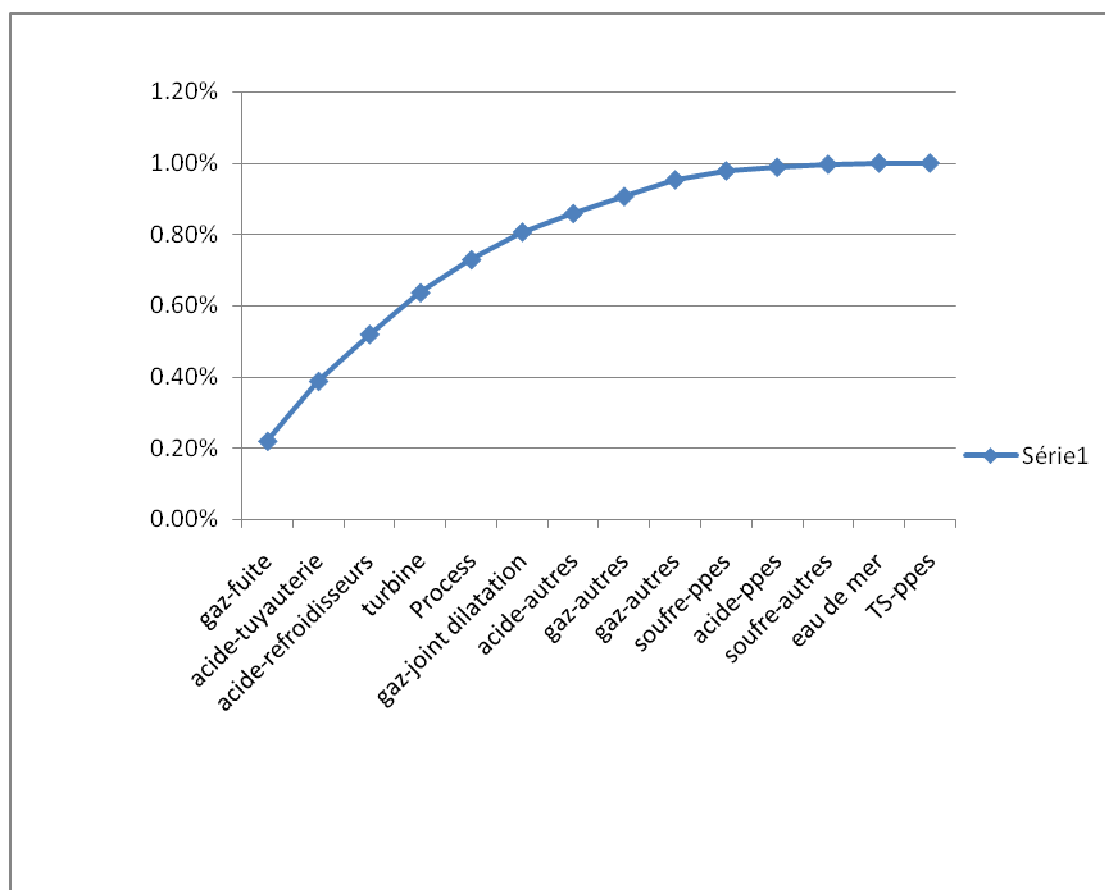


Figure 33: Graphe illustrant les circuits responsables d'arrêt de l'unité 01 B

Pour cette unité 01B, les circuits responsables de 80% des arrêts sont :

- Gaz-fuite
- Acide-tuyauterie
- Acide-refroidisseurs
- Turbine
- Process

Pour l'unité 01C :

cause d'arrêts hors externe	% HAE par ordre décroissant	CUMUL en %
process	26,76%	26,76%
gaz-fuite	22,47%	49,23%
acide-tuyauterie	15,76%	64,99%
acide-ppes	12,43%	77,42%
turbine	8,02%	85,44%
gaz-joint dilatation	4,33%	89,77%
acide-refroidisseurs	4,08%	93,85%
soufre-autres	3,06%	96,91%
soufre-ppes	2,61%	99,52%



acide-autres	0,48%	99,99%
TS-ppes	0,00%	100,00%
vapeur	0,00%	100,00%
gaz-autres	0,00%	100,00%
eau de mer	0,00%	100,00%

Tableau 14:tableau résumant la méthode ABC pour l'unité 01C

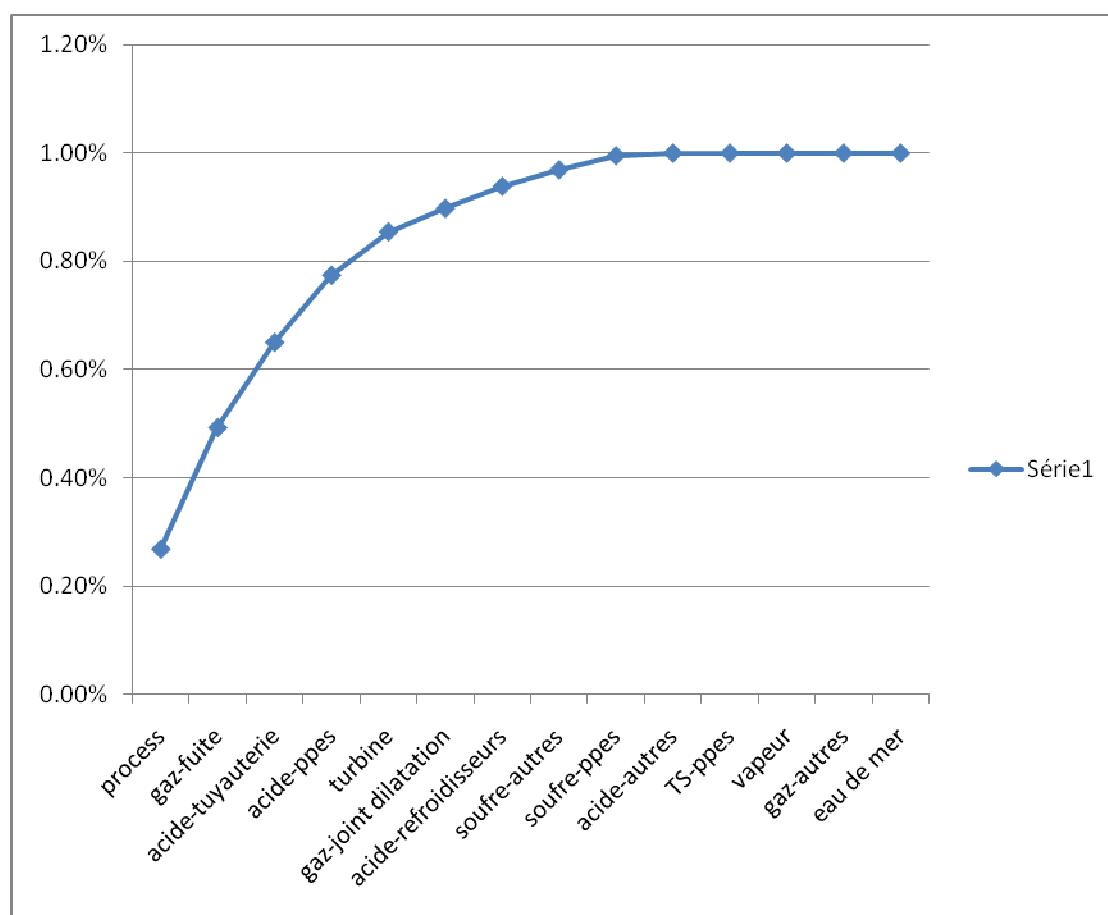


Figure 34:Graphe illustrant les circuits responsables d'arrêt de l'unité 01C

Pour cette unité 01C, les circuits responsables de 80% des arrêts sont :

- Process
- Gaz-fuite
- Acide-tuyauterie
- Acide-ppes

Pour l'unité 01X :

cause d'arrêts hors externe	% HAE par ordre décroissant	CUMUL en %
gaz-fuite	28,31%	28,31%
acide-tuyauterie	25,52%	53,83%



process	20,80%	74,63%
turbine	7,55%	82,18%
acide-autres	5,77%	87,95%
acide-ppes	5,61%	93,56%
gaz-joint dilatation	2,95%	96,51%
soufre-ppes	2,13%	98,64%
vapeur	1,26%	99,90%
gaz-autres	0,10%	100,00%
acide-refroidisseurs	0,00%	100%
TS-ppes	0,00%	100%
soufre-autres	0,00%	100%
eau de mer	0,00%	100%

Tableau 15: tableau résumant la méthode ABC pour l'unité 01A

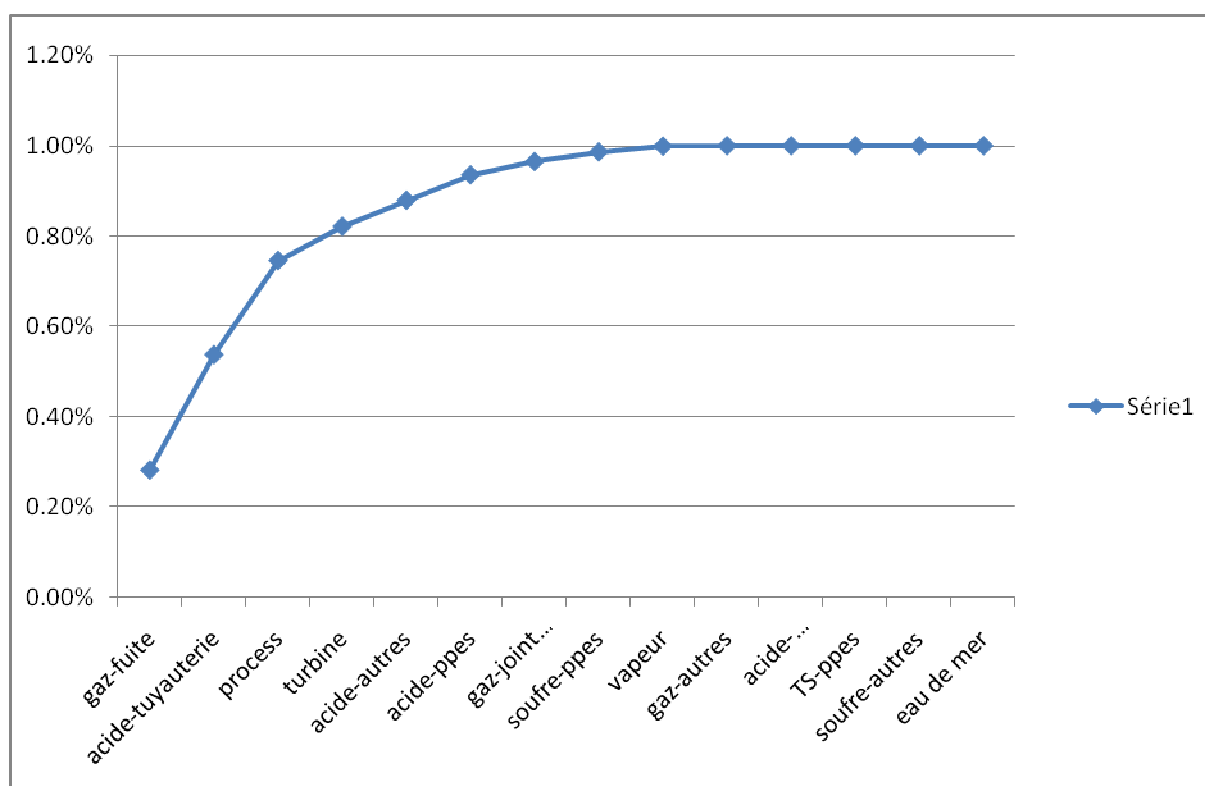


Figure 35: Graphe illustrant les circuits responsables d'arrêt de l'unité 01X

Pour cette unité 01X, les circuits responsables de 80% des arrêts sont :

- Gaz-fuite
- Acide-tuyauterie
- Process

Pour l'unité 01Y :

cause d'arrêts hors externe	% HAE par ordre décroissant	CUMUL en %
-----------------------------	-----------------------------	------------



acide-tuyauterie	43,83%	43,83%
gaz-fuite	23,05%	66,88%
acide-autres	16,10%	82,98%
process	5,15%	88,13%
soufre-autres	4,26%	92,39%
turbine	3,31%	95,70%
vapeur	1,51%	97,21%
gaz-joint dilatation	1,37%	98,58%
eau de mer	0,95%	99,53%
soufre-ppes	0,47%	100,00%
acide-ppes	0,00%	100%
gaz-autres	0,00%	100%
TS-ppes	0,00%	100%
acide-refroidisseurs	0,00%	100%

Tableau 16: tableau résumant la méthode ABC pour l'unité 01Y

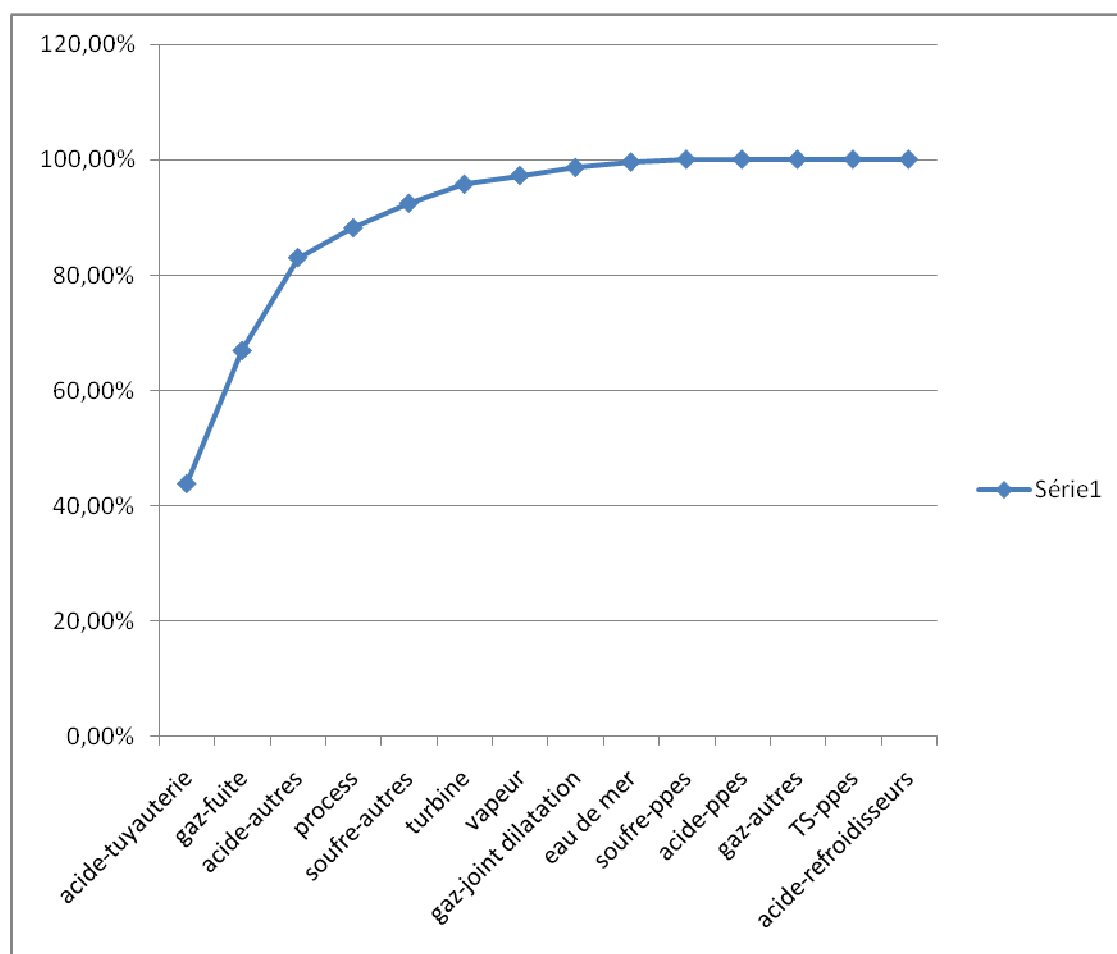


Figure 36: Graphique illustrant les circuits responsables d'arrêt de l'unité 01Y

Pour cette unité 01Y, les circuits responsables de 80% des arrêts sont :



- Acide-tuyauterie
- Gaz-fuite

Pour l'unité 01Z :

cause d'arrêts hors externe	% HAE par ordre décroissant	CUMUL en %
acide-tuyauterie	43,83%	43,83%
gaz-fuite	23,05%	66,88%
acide-autres	16,10%	82,98%
process	5,15%	88,13%
soufre-autres	4,26%	92,39%
turbine	3,31%	95,70%
vapeur	1,51%	97,21%
gaz-joint dilatation	1,37%	98,58%
eau de mer	0,95%	99,53%
soufre-ppes	0,47%	100,00%
acide-ppes	0,00%	100%
gaz-autres	0,00%	100%
TS-ppes	0,00%	100%
acide-refroidisseurs	0,00%	100%

Tableau 17:tableau résumant la méthode ABC pour l'unité 01Z