

Année Universitaire : 2018-2019

**Master Sciences et Techniques GMP
Génie des Matériaux et des Procédés**

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

**Eude critique de l'usure prématurée des équipements de
la section de lavage (épuration des gaz) de la ligne de
production de l'engrais « Triple Super Phosphates TSP »**

Présenté par :

El MRIEJ Soufiane

Encadré par :

- HRAR Sara – OCP Jorf Lasfar -
- SKALLI Mohamed Khalid – FST Fès -

Soutenu Le 19 Juin 2019 devant le jury composé de :

- Pr. SKALLI Mohamed Khalid
- Pr. CHTIOUI Hicham
- Pr. CHAOUQI Mohamed

Stage effectué à: Jorf Fertilizer Company V OCP Jorf Lasfar



Master Sciences et Techniques : Génie des Matériaux et des Procédés

Nom et prénom : EL MRIEJ Soufiane

Titre : Etude critique de l'usure prématurée des équipements de la section de lavage (épuration des gaz) de la ligne de production de l'engrais « Triple Super Phosphates TSP ».

Résumé

Dans le souci de protéger l'environnement contre tout risque, le groupe OCP veille à respecter les normes exigées par les différents organismes. C'est dans ce cadre s'inscrit ce présent rapport. En effet, ce travail vise à trouver les différents facteurs causant la dégradation des équipements de la section de lavage de la ligne 307 afin d'avoir un lavage qui respecte les normes exigées permettant la protection de l'environnement.

Afin d'effectuer cette tâche, on s'est amené à traiter les archives des années 2018/2019 de l'usine concernant les arrêts de la section de lavage, déterminer les équipements critiques, les causes des problèmes constatés et élaborer un plan d'action afin de remédier aux problèmes trouvés.

Abstract

In order to protect the environment from any risk, the OCP group ensures that the standards required by the various organizations are respected. It is in this context that this report should be included. In fact, the purpose of this work is to find the various factors that cause the equipment in the washing section of line 307 to degrade in order to have a wash that meets the required standards for environmental protection.

In order to carry out this task, it was necessary to process the records of the years 2018/2019 of the plant concerning the shutdowns of the washing section, to determine the critical equipment, the causes of the problems identified and developed an action plan to address the problems identified.

ملخص

من أجل الحفاظ على البيئة، تسهر مجموعة المجمع الشريف للفوسفاط على الامتثال للقوانين المفروضة من طرف مختلف الهيئات الساهرة على الحفاظ على البيئة. ففي هذا الإطار، يهدف هذا التقرير إلى تحديد مختلف العوامل التي تتسبب في تدهور مختلف الآليات الموجودة في قسم معالجة الغازات التابعة للوحدة 307 لإنتاج الأسمدة للحصول على علاج يحترم القوانين المفروضة

لإجراء هذا العمل، قمنا بتحليل مختلف المعطيات الخاصة بأعطال وحدة معالجة الغازات، تحديد الآليات المعطلة، أسباب الأعطال و اقتراح حلول لمعالجة الأعطاب المحددة سابقا



Dédicaces

Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chers.

A MA CHÈRE MÈRE

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

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.

Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices. Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie.

A LA MÉMOIRE DE MON PÈRE

Ce travail est dédié à mon père, décédé trop tôt, qui m'a toujours poussé et motivé dans mes études.

J'espère que, du monde qui est sien maintenant, il apprécie cet humble geste comme preuve de reconnaissance de la part d'un fils qui a toujours prié pour le salut de son âme. Puisse Dieu, le tout puissant, l'avoir en sa sainte miséricorde.

A MA CHÈRE SŒUR

Merci énormément pour ton soutien plus que précieux. Merci pour ton grand cœur toutes vos qualités qui seraient trop longues à énumérer. Ma vie ne serait pas aussi magique sans ta présence et ton amour.

Je t'aime de tout mon cœur.

A tous mes amis et mes collègues de classe.

Remerciements

Avant d'entamer ce rapport que j'espère portera satisfaction à toute personne qui le feuillettera, je tiens à remercier **Mme. HRAR Sara**, mon encadrante de stage et chef de service Production Engrais à JFC V, d'avoir accepté de m'accorder un stage au sein du Jorf Fertilizer Company V (atelier engrais) ainsi que pour son encadrement, son aide précieuse, ses conseils et sa coopération.

Je remercie infiniment et tout particulièrement mon encadrant pédagogique **Pr. SKALLI Mohamed Khalid** pour son encadrement, sa disponibilité, son orientation, son aide précieuse et ses précieux conseils.

Je remercie chaleureusement les membres de jury, **Pr. CHTIOUI Hicham** et **Pr. CHAOUQI Mohamed** d'avoir accepté de juger ce travail, ainsi qu'au corps administratif et professoral de la FSTF et tout particulièrement les enseignants du département de Chimie.

Mes chaleureux remerciements s'adressent à **Pr. OULMEKKI Abdallah**, le coordinateur du Master Sciences et Techniques intitulé « génie des matériaux et des procédés » pour ses efforts considérables pour le bon déroulement et la réussite de la formation.

Je souhaiterais remercier infiniment **Mr. SAIDI Hassan**, **Mr. EL MESAUDI Otmane**, **Mr. FAROUK Abdelhak**, **Mr. FARRACH Mourad**, **Mr. EL KAROUSSE Abderrahim** pour leur accueil, leur disponibilité, leur aimable collaboration et leur aide dans la rédaction de mon rapport.

Mes remerciements vont également aux agents OCP travaillant à la salle de contrôle (atelier TSP) et aux agents travaillant au sein du laboratoire OKSA pour leur disponibilité, leur cordialité et leur aide.

Finalement, mes vifs remerciements s'adressent à tout le personnel de la division production engrais pour leur chaleureux accueil et leur rôle dans mon intégration dans leur équipe.

Liste des figures

Figure 1: carte géographique des mines et des sites de production du groupe OCP	5
Figure 2: Organigramme de la JFC V	7
Figure 3: schéma descriptif de la cuve d'attaque	13
Figure 4: schéma descriptif du granulateur M01	16
Figure 5: Schéma descriptif du sécheur et son système d'assainissement	18
Figure 6: Schéma descriptif du crible	19
Figure 7 : Description du procédé générale de la production TSP	21
Figure 8 : Planification du projet à traiter	22
Figure 9: Schéma descriptif du système de lavage.	27
Figure 10: Diagramme Pareto des équipements critique	30
Figure 11: Mécanisme général de l'hydrolyse.	36
Figure 12: Coupures statistiques dans un polymère tridimensionnel.	36
Figure 13 : Mécanisme de rupture provoqué par la corrosion de la fibre de verre E	38
Figure 14: Image MEB de faisceaux de fibres de verre.....	38
Figure 15: Réaction de l'acier et l'acier inoxydable avec l'eau et l'air	40
Figure 16: Les différents types de corrosion.....	43
Figure 17: <i>Corrosion par piqûre</i>	44
Figure 18 : Corrosion caverneuse	45
Figure 19: Corrosion sous contrainte	46

Liste des tableaux

Tableau 1: Méthode QQOCQP	24
Tableau 2: Arrêts constatés au niveau de la section de lavage	29
Tableau 3: détermination des équipements critiques	30
Tableau 4: différentes nuances des aciers inoxydables.....	49

Liste d'abréviations

OCP : Office Chérifien des **Phosphates**.

JFC V: Jorf Fertilizer Company **V**.

TSP: Triple Super **Phosphates**.

MAP : Mono Ammonium de **Phosphates**.

ACP : Acide **Phosphorique**.

CA : Cuve d'Attaque.

SVR : Stratifié Verre **Résine**.

AISI: American **Iron and Steel Institute**.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	1
Chapitre I : Présentation du groupe OCP & de l'organisme d'accueil JFC V.....	2
I. Généralités sur le groupe OCP.	3
1. Présentation du groupe OCP	3
2. Historique.....	3
3. Carte géographique des mines et des sites de valorisation des phosphates ..	5
4. Statut juridique.....	5
5. Filières du groupe OCP.....	6
II. Présentation du Jorf Fertilizer Company 5 (JFC V).	6
CHAPITRE II : Généralités sur les engrais & procédé de fabrication des triple super phosphates (TSP).	8
I. Composition d'un engrais.....	9
II. Les différents types d'engrais.....	9
1. Engrais organiques.....	9
a. Le fumier	10
b. Le compost	10
2. Engrais minéraux	10
III. Les différents types d'engrais minéraux.	11
1. Engrais azotés	11
2. Engrais phosphatés.....	11
3. Engrais potassiques	11
4. Engrais soufrés.....	12
5. Engrais organo-minéraux.....	12
IV. Risques liés à la mauvaise utilisation des engrais.....	12
V. Avantages d'utilisation des engrais	12
VI. Procédé de fabrication des triples super phosphates (TSP). ^[1]	13
1. Réaction	13
2. Granulation	15
3. Séchage	16
4. Classification.....	18
5. Stockage.....	19
6. Lavage des gaz.....	19
VII. Cahier de charge du projet.	22

CHAPITRE III : Etude détaillée de la section de lavage de la ligne 307, identification des types des arrêts & analyse des données statistiques.....	23
I. Définition de la problématique et l'objectif à atteindre.....	24
II. Description du système de lavage de l'unité de production TSP. ^[1]	24
III. Nature de liquide de lavage circulant dans la tour de lavage.....	26
IV. Système de dépoussiérages.	28
V. Identification des types des arrêts de la section de lavage de la ligne 307 & analyse des données statistiques.....	28
1. Identification des arrêts de la section de lavage de la ligne 307 TSP ^[5]	28
2. Détermination des équipements critiques	30
3. Diagramme Pareto et analyse des données statistiques	30
Chapitre IV : Détermination des facteurs permettant la dégradation des pompe P01 A/R, du circuit ACP 42 % alimentant la cuve d'attaque & élaboration des plans d'action.....	33
I. Le circuit ACP 42%.....	34
1. Le matériau composite. ^[2]	34
2. Le matériau composite de type SVR. ^[2]	34
a. Les résines	34
b. Les fibres de verre	35
3. Facteurs permettant la dégradation du matériau composite SVR. ^[2]	35
a. Corrosion des polymères.....	35
i. Le terme « corrosion »	35
ii. Le vieillissement chimique des polymères	36
b. Corrosion des fibres de verre.	37
i. Les fibres de verre	37
ii. La corrosion des fibres de verre de type E en milieu acide.....	37
4. Facteurs permettant la détérioration du circuit ACP 42%.	38
II. Les pompes P01 A/R.	39
1. L'acier inoxydable. ^[6]	39
i. Principales familles :.....	40
2. Acier inoxydable A2-70 (AISI 304L) ^[8]	41
i. Caractéristiques chimiques et mécaniques :.....	41
ii. Désignation A2-70 : ^[7]	42
3. Notion de la corrosion. ^[6]	42
i. Principaux facteurs de corrosion :.....	42
4. Différents types de la corrosion. ^[6]	43

a.	Corrosion par piqûre.....	44
b.	Corrosion caverneuse.....	44
c.	Corrosion intergranulaire.....	45
d.	Corrosion sous contrainte.....	45
e.	Corrosion généralisée.....	46
5.	Les différentes nuances d'aciers inoxydables austénitiques, leurs symboles et leur résistance à la corrosion et à la traction. ^[7]	47
6.	Facteurs permettant la dégradation des pompes P01 A/R.	49
III.	Elaboration des plans d'action.	50
1.	Actions techniques pour remédier aux problèmes concernant la dégradation des pompes P01 A/R.	50
a.	Eviter la corrosion par piqûre.....	50
b.	Eviter la corrosion caverneuse.	50
c.	Eviter la corrosion sous contrainte.	51
d.	Diminuer le taux des sulfates contenue dans l'acide phosphorique 42%. 51	
e.	Diminuer la concentration en acide fluorhydrique HF en ajoutant la silice SiO ₂	51
2.	Actions techniques afin de remédier aux problèmes de dégradation du circuit de l'acide phosphorique 42%.	52
a.	Le polyéthylène.	52
b.	La résine fluorée.....	52
	Conclusion.....	53
	Références	
	Annexe 1	
	Annexe 2	
	Annexe 3	

INTRODUCTION GENERALE

Dans le souci de fournir les éléments essentiels à la fertilité des sols, à la croissance des plantes et à la croissance des rendements agricoles, le groupe OCP est désormais comme étant un leader mondial dans l'industrie des engrais car il contribue à nourrir durablement une population mondiale croissante.

Face à une concurrence incessante, le groupe OCP met l'innovation au cœur du développement d'engrais adaptés et performants qui soutiennent la fertilisation raisonnée des sols tout en respectant les normes concernant l'environnement.

Ces normes exigent un contrôle rigoureux du taux des gaz polluants contenus dans les effluents qui vont être émis vers l'atmosphère.

C'est dans ce cadre s'inscrit le présent rapport intitulé « étude critique de l'usure prématurée des équipements de la section de lavage (épuration des gaz) de la ligne TSP ».

En effet, ce projet vise à trouver les facteurs permettant la détérioration de ces équipements afin de les protéger contre tous types de corrosion et avoir un lavage qui respecte les normes exigées permettant la protection de l'environnement.

Le présent rapport sera composé de quatre chapitres :

- Le premier est consacré à la présentation du groupe OCP et de l'organisme d'accueil JFC V.
- Le deuxième concernera une vue générale concernant les engrais ainsi que le procédé de fabrication des triples super phosphates TSP.
- Le troisième est dédié à une étude détaillée de la section de lavage de la ligne 307, identification des arrêts constatés au sein de cette section et analyse des données statistiques.
- Le quatrième chapitre et le dernier consiste à déterminer les facteurs permettant la dégradation des équipements critiques et proposer des actions correctives afin de remédier aux problèmes constatés.

Chapitre I : Présentation du groupe OCP & de l'organisme d'accueil JFC V.

I. Généralités sur le groupe OCP.

1. Présentation du groupe OCP

Le Maroc est un pays de très grande tradition minière, non seulement pour les phosphates qui constituent sa principale richesse, mais également par la diversité des autres substances minérales existant dans son sous-sol.

Et afin d'éviter que ces richesses de phosphates tombent aux mains d'organismes privés, le gouvernement légifère le Dahir du 27 janvier 1920 qui réservait à l'état marocain les droits de recherche, d'exploitation et de commercialisation des phosphates. De ce fait l'Office Chérifien des Phosphates fût créé par le Dahir de 7 août 1920.

Le groupe OCP est une société anonyme fondée en 1920 et domiciliée au Maroc. OCP S.A est le leader mondial des exportations des phosphates et produits dérivés, avec des activités couvrant l'ensemble de la chaîne de valeur, allant de l'extraction de la roche phosphatée à la transformation chimique en acide phosphorique et différents engrais. Les produits OCP représentent une composante majeure de la sécurité alimentaire mondiale tant ils sont importants pour la productivité agricole et contribuent activement à la régénération qualitative des sols.

Les missions de l'OCP consistent à :

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

2. Historique

Depuis sa création, le groupe OCP a connu une large évolution.

Les étapes les plus importantes dans son évolution sont :

- **1920** : Création du groupe OCP le 7 août.
- **1921** : Début des exploitations en souterrain dans la région d'Oued-Zem sur les gisements de Oulad-Abdoun le 3 mars.
- **1931** : Début des exploitations en souterrain.
- **1954** : Démarrage des premières installations de séchage Youssoufia.
- **1961** : Mise en service de la première laverie à Khouribga.

Chapitre I

- **1962** : Introduction de la mécanisation de souterrain à Youssoufia le 19 septembre
- **1965** : Création de Maroc Chimie et extension à l'extraction à ciel ouvert à la mine de MERAH-EL AHRACH (Khouribga).
- **1965** : Démarrage du complexe de séchage de BENI-IDIR.
- **1967** : Introduction de la mécanisation du souterrain à Khouribga.
- **1969** : Entrée en exploitation de la première recette de phosphate noir à Youssoufia.
- **1974** : Lancement des travaux pour la réalisation du centre minier de Benguéir.
- **1975** : Création du groupe OCP.
- **1981** : L'OCP entre dans le capital de la société PRAYON (Belgique).
- **1982** : Démarrage du complexe de séchage d'Oued-Zem.
- **1994** : Démarrage du projet minier de sidi Chennane.
- **1997** : Accord « OCP- Grande Paroisse » pour l'utilisation de l'usine de Rouen.
- **1998** : Le groupe OCP obtient le prix national de la qualité.
- **1999** : Démarrage de la production d'acide phosphorique de l'usine d'IMACID à Jorf Lasfar le 1^{er} novembre.
- **2004** : Création de la société « Pakistan Maroc Phosphore S.A » en joint-venture entre l'OCP et Fauji Fertilizer Bin Qasim Limited (Pakistan)
- **2005** : Démarrage de l'usine de lavage / flottation à Youssoufia.
- **2006** : Projet nouvelle ligne DAP avec un rendement de 850000 t/an à Jorf Lasfar.
- **2007** : Démarrage de Pakistan Maroc Phosphore (Jorf Lasfar).
- **2008** : La société anonyme OCP S.A est née le 22 janvier.
- **2009** : Démarrage de Bunge Maroc Phosphore (BMP) nommé actuellement Jorf Fertilizer Company 5 (JFCV).
- **2010** : Mise en service d'une nouvelle station d'épuration des eaux usées de la ville de Khouribga (STEP) en avril.
- **2010** : Option d'une technologie des filtres à manches à Youssoufia, en décembre.
- **2010** : Mise en service de la cinquième laverie du groupe OCP S.A, celle de MERAH LAHRACH en octobre.
- **2011** : Démarrage des travaux d'excavation du pipeline entamés par Tekfen, qui sera opérationnel en juin 2012.

Chapitre I

- **2013** : Démarrage programmé du projet Slurry Pipeline sur l'axe Khouribga – Jorf Lasfar de 235 Km.
 - **2015** : Démarrage programmé du Slurry Pipeline de l'axe Ben Guérir – Youssoufia – Safi.
3. Carte géographique des mines et des sites de valorisation des phosphates

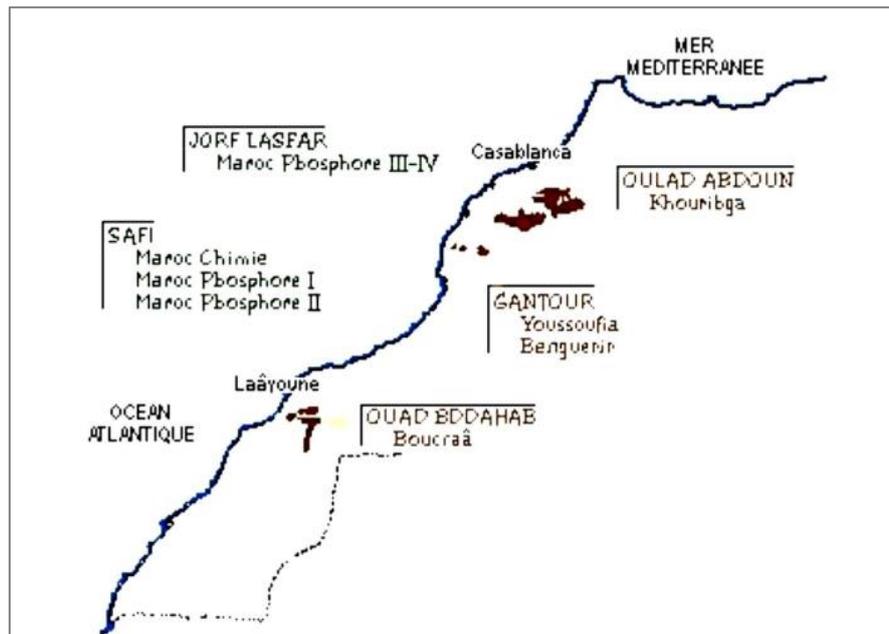


Figure 1: carte géographique des mines et des sites de production du groupe OCP

4. Statut juridique

L'OCP soit une société anonyme sous contrôle de l'état, elle agit avec le même dynamisme et la même souplesse qu'une grande entreprise privée réservant à l'état marocain les droits de recherche et d'exploitation des phosphates.

L'OCP est géré par un conseil d'administration. La gestion financière est séparée à celle de l'état.

En outre, l'OCP est inscrit au registre de commerce et soumis sous le plan fiscal aux mêmes obligations que n'importe quelle autre entreprise privée (impôts sur les salaires, sur les bénéfices) et à chaque année, l'OCP participe au budget de l'état par versement de ses dividendes.

5. Filières du groupe OCP

- **CERPHOS** : centre d'étude et recherche des phosphates minéraux.
- **FERTIMA** : Société Marocaine des fertilisants.
- **IPSE** : Institut de Promotion Socio-Educative.
- **Maroc Phosphore** : Direction industrielle chimique.
- **MARPHOCEAN** : Transfert des actions de l'OCP (maritime).
- **PHOSBOUCRAA**.
- **SMESI** : Société Marocaine d'Etudes Spéciales et Industrielle.
- **SOTREG** : Société des Transports Régionaux.

II. Présentation du Jorf Fertilizer Company 5 (JFC V).

C'est la nouvelle usine portant précédemment le nom « Bungue Maroc Phosphore (BMP) », elle a été créée grâce à une coopération entre le groupe OCP et le gouvernement brésilien. Cette usine a démarré en 2009 et elle est située à la plateforme industrielle de Jorf Lasfar. L'inauguration de cette entité atteste du bien-fondé de la politique de partenariat à long terme engagée par le groupe OCP avec ses clients de renommée mondiale. C'est un projet hautement stratégique.

Elle occupe une surface de 12 hectares, et localisée au côté sud des unités existantes de l'acide phosphorique MP 3 et 4 près du port de Jorf Lasfar à l'océan atlantique du Maroc. Son capital est de l'ordre de 2535 MDH.

Cette nouvelle usine comporte une unité de production d'acide sulfurique, une unité de production d'acide phosphorique et une unité de fabrication des engrais (TSP & MAP).

➤ Structure de Jorf Fertilizer Company V

Le complexe JFC V se compose de cinq unités :

- Atelier de traitement des eaux douces.
- Atelier sulfurique.
- Atelier phosphorique.
- Centrale thermoélectrique.
- Atelier des engrais (TSP & MAP).

L'organigramme suivant montre les différents ateliers présents au sein du Jorf Fertilizer Company V ainsi que son organisation interne :

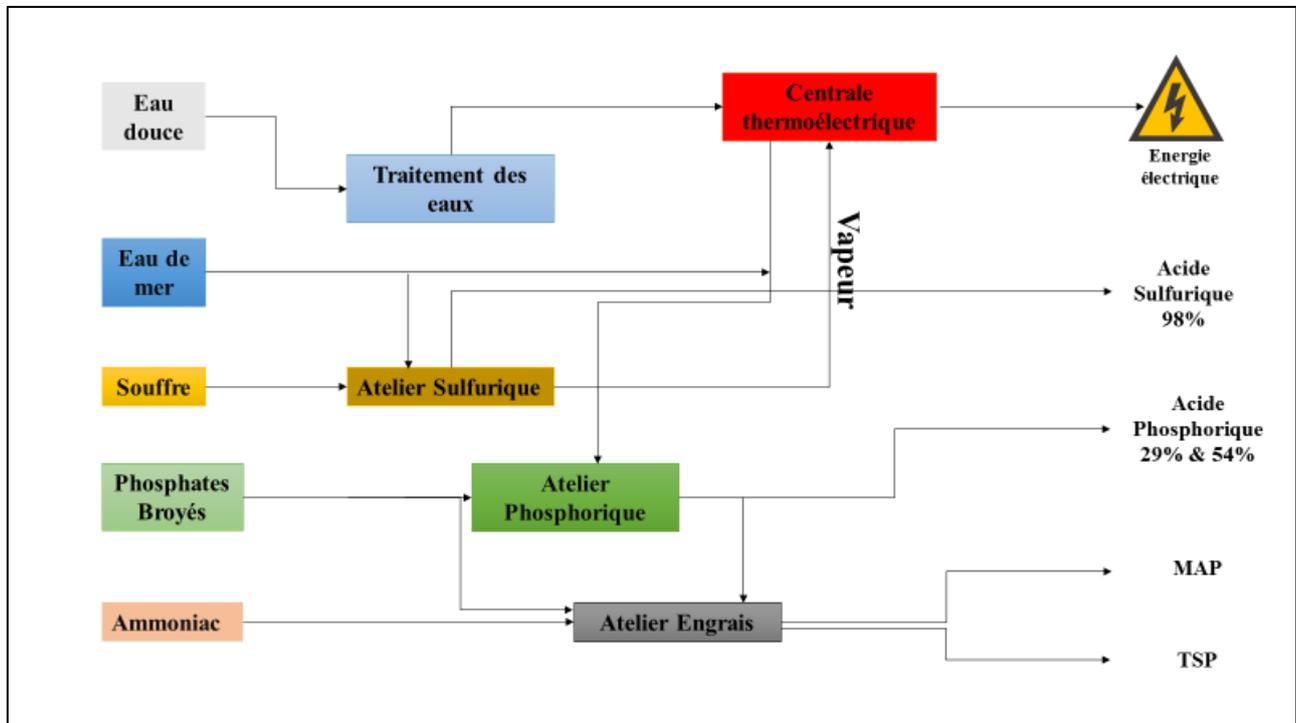


Figure 2: Organigramme de la JFC V

CHAPITRE II : Généralités sur les engrais & procédé de fabrication des triple super phosphates (TSP).

Chapitre II

Les engrais sont des substances naturelles ou synthétiques que l'on utilise pour fournir des éléments nutritifs essentiels à la croissance des plantes. L'action consistant à apporter un engrais s'appelle la fertilisation.

I. Composition d'un engrais

- **Azote (N) :** C'est l'élément de base naturellement présent dans le sol sous plusieurs formes, dont l'acide nitrique, seul assimilable par les plantes. Il va jouer un rôle essentiel dans le développement de la partie aérienne des végétaux : tiges et feuillages.
- **Phosphore (P) :** Son action se concentre surtout sur les racines, dont il assure le bon développement. Il favorise la fécondation (floraison, reproduction et fructification). A la fin du développement de la plante, il est stocké dans des organes et réutilisable par celle-ci pour la création des futures pousses.
- **Potassium (K) :** Grâce à cet élément, la plante a une croissance équilibrée et résiste mieux aux maladies. S'il est apporté en excès, la plante est plus sensible aux maladies. Son apport en engrais est sous forme de K_2SO_4 , KCl ou bien KNO_2 . On peut trouver du potassium dans la cendre de bois par exemple.

Un engrais est donc composé de trois éléments principaux mais il convient d'y ajouter :

- **Des éléments secondaires.**
- **Magnésium (Mg).**
- **Calcium (Ca).**
- **Soufre (S).**

Ces éléments secondaires se trouvent habituellement en quantité suffisante dans le sol, et ne devrait être ajoutés qu'en cas de carence, à faible dose, au-delà d'un seuil variant selon les éléments, et selon le pH du sol tels que : Le fer (Fe), le manganèse (Mn), le molybdène (Mo), le cuivre (Cu), le Bore (B), le Zinc (Zn), le Chlore (Cl), le sodium (Na), le Cobalt (Co), le Vanadium (V) et le Silicium (Si). Ils sont appliqués aux cultures afin d'améliorer les réactions présentes dans la plante. Ils sont à apporter en très faible dose.

II. Les différents types d'engrais.

1. Engrais organiques

Ils sont sous forme de : fumier de ferme, compost ou résidus des cultures enfouies.

a. Le fumier

C'est le produit de la fermentation d'un mélange de pailles plus ou moins piétinés et de déjection animale qui permet un recyclage efficace des éléments minéraux plus concentrés et plus assimilables que dans les résidus de départ. Le fumier le plus courant en Afrique, appelé poudrette de parc, est récolté dans les parcs où les animaux sont gardés la nuit. C'est un mélange de terre et des fèces non fermentées. Il contient moins de 50% de matières organiques et sa composition est variable suivant la proportion de la terre. Il contient souvent beaucoup de graines d'adventices viables.

b. Le compost

C'est un amendement humide provenant de la lente fermentation (en présence d'oxygène) des divers produits végétaux et animaux. La fabrication de compost, à partir des tiges et très peu de déjections animales, a souvent été proposée pour obtenir une sorte de fumier artificiel en manipulation, si bien qu'il n'est couramment utilisé que dans les cas spéciaux comme les pépinières, le maraichage, etc...

D'un point de vue général, le compost est le résultat d'un processus biologique assurant la décomposition des constituants organiques, de son produit et déchets en produits organiques stables et riches en composés humiques.

2. Engrais minéraux

Les engrais minéraux sont des substances d'origine minérale, produites par l'industrie chimique, ou par l'exploitation des gisements naturels de phosphates et de potassium.

L'appellation des engrais minéraux est normalisée, par la référence à leurs trois composants principaux : NPK. On distingue les engrais simples, ne contenant qu'un seul élément nutritif et les engrais composés pouvant en tenir deux ou trois. Les engrais simples peuvent être azotés, phosphatés ou potassiques. Les engrais binaires sont notés NP ou PK ou NK, les ternaires NPK. Ces engrais composés peuvent être des simples mélanges, parfois réalisés par les distributeurs, coopératives ou négociants.

III. Les différents types d'engrais minéraux.

1. Engrais azotés

Les engrais azotés proviennent de la synthèse de l'ammoniac à partir de l'azote de l'air et d'hydrogène. Cette réaction chimique consomme beaucoup d'énergie. C'est pourquoi les usines de synthèse de l'ammoniac sont situées dans les régions de l'énergie et disponible à un prix favorable. Il est parfois possible d'utiliser les gaz provenant de gisement de pétrole au lieu de les brûler dans des torchères. Le prix de l'unité d'azote sous forme d'engrais varie comme le prix de l'énergie.

L'ammoniac gazeux peut être utilisé comme engrais mais il doit être conservé dans des cuves réfrigérées et sous pression et être injecté directement dans le sol. Pour fabriquer des engrais plus faciles à utiliser, on combine l'ammoniac sous forme de sel ou d'urée ou on l'oxyde en nitrate en le brûlant avec l'oxygène de l'air. On en détermine plusieurs types :

Les engrais ammoniacaux où tout l'azote est sous formes ammoniacale, les engrais ammoniaco-nitriques : Ils contiennent la moitié de l'azote sous forme ammoniacale et l'autre moitié sous forme nitrique, et les engrais nitriques.

2. Engrais phosphatés

Le phosphore naturel provient principalement de roches sédimentaires largement réparties dans le monde (Maroc, Sénégal, Togo, etc.) et parfois de roches éruptives qui ont l'avantage de contenir du cadmium (Russie, RSA). D'autres sources de phosphate peuvent être utilisées : la poudre d'os calciné, les guanos, qui résulte de l'évolution de déjections d'oiseaux de mer sur des îlots. Les engrais sont fabriqués en traitant le phosphore naturel pour qu'il devienne plus soluble. On les distingue suivant leur solubilité : Hypo soluble, insoluble et soluble.

3. Engrais potassiques

La potasse est un élément particulièrement favorable à la coloration et à la qualité des fruits. Elle augmente la résistance des plantes aux maladies et au froid. Les engrais potassiques sont très solubles dans l'eau et se fixent bien dans le sol, sauf dans les sols très sableux.

4. Engrais soufrés

La principale source de soufre est le traitement des hydrocarbures en plus, certains produits naturel ou sous-produits industriels utilisés pour la fabrication des engrais apporte du sulfate-gypse, phospho-gypse, sulfate de potassium et de magnésium, sulfate d'ammoniaque, etc...

5. Engrais organo-minéraux

Les engrais organo-minéraux sont des engrais à action douce et soutenue résultant du mélange d'engrais minéraux et d'engrais organique. Les matières organiques azotées représentent généralement 25 à 50% des produits finis. Les autres constituants du fertilisant, sels simples et minéraux (apportant l'azote, le phosphore et le potassium) sont dilués dans la matière organique.

IV. Risques liés à la mauvaise utilisation des engrais

Parmi ces risques, nous pouvons citer : la négligence de bonnes pratiques culturales, le surdosage des engrais, le sous dosage des engrais, les engrais acidifiants (exemple : DAP, urée et du sulfate d'ammoniac) mode d'application inapproprié des engrais, l'épuisement des éléments nutritif autres que N, P et K ainsi que la contamination des nappes souterraines.

V. Avantages d'utilisation des engrais

L'utilisation des engrais a plusieurs avantages :

- ✓ La quantité d'engrais à transporter et à utiliser est restreinte, car la concentration des éléments nutritifs dans les engrais est très élevée.
- ✓ Les engrais permettent une meilleure croissance des cultures et un rendement élevé. Le test d'application des engrais minéraux dans un même sol a toujours montré une différence significative entre la parcelle témoin et la parcelle avec engrais, du point de vue croissance végétative, tallage, nombre de gousse et rendement.
- ✓ L'application des engrais permet la durabilité de la production agricole : sur un même sol l'application des engrais contribuent non seulement à l'augmentation des rendements de la culture, mais aussi et surtout au maintien de la fertilité du sol. Cela permet l'enchaînement de saison culturale sans passer aux jachères, qui s'avèrent actuellement impossible avec la poussée démographique.

Chapitre II

L'application des engrais pour augmenter les revenus des agriculteurs pour passer d'une agriculture de subsistance à l'agriculture de rente (marché), il faut absolument augmenter le rendement. Pour y arriver le recours aux engrais minéraux associés aux bonnes pratiques culturales est précieux. C'est à cette condition que l'agriculteur peut dégager des excédents nécessaires à la satisfaction des besoins de base. Les coûts de production d'un kg diminuent avec l'utilisation des engrais, permettant aux producteurs de vendre à des prix compétitifs.

VI. Procédé de fabrication des triples super phosphates (TSP).^[1]

1. Réaction

Le triple superphosphate est un engrais simple qui ne contient qu'un seul élément fertilisant (phosphore).

Dans le cas de cet engrais, on trouve qu'un tiers de ce produit est fourni par le minerai phosphaté alors que les deux tiers restants sont fournis par l'acide phosphorique.

La réaction chimique principale entrant dans la production des triples super phosphates est celle entre l'acide phosphorique et la roche phosphatée (phosphate tricalcique) afin de produire du phosphate monocalcique monohydraté. Cette attaque se fait dans une cuve appelée cuve d'attaque selon la réaction suivante :



Cette réaction est considérée comme étant la réaction principale conduisant à la formation des triples super phosphates (TSP).

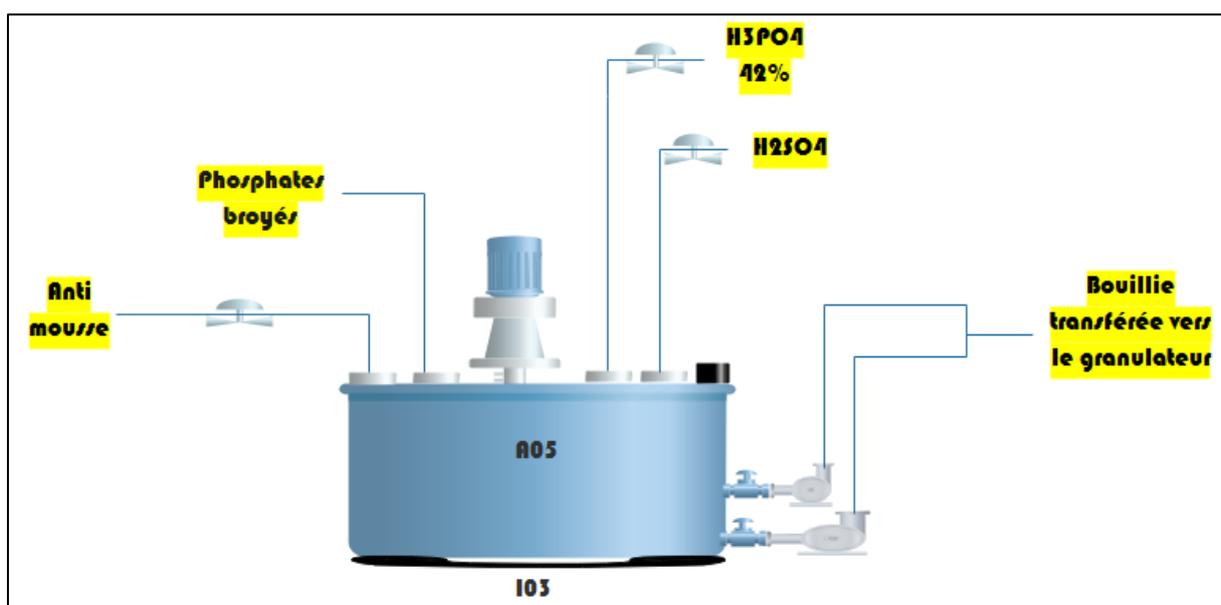


Figure 3: schéma descriptif de la cuve d'attaque

Chapitre II

Les mêmes réactifs, avec des proportions différentes, peuvent entrer dans une réaction chimique parallèle pour produire du phosphate dicalcique.



Les impuretés contenues dans la roche phosphatée et dans l'acide phosphorique entrent dans des réactions latérales. Les réactions secondaires importantes concernent l'excès d'acide sulfurique, l'aluminium et le fer, ainsi que les fluorures et les silicates.

La réaction entre l'acide sulfurique, toujours présent comme un léger excès dans l'acide phosphorique, et la roche phosphatée produit du phosphate monocalcique monohydraté et de l'anhydrite de sulfate de calcium.



Les réactions entre les oxydes de fer et d'aluminium et l'acide phosphorique sont presque identiques. Les deux réactions produisent des sels de phosphate de métal qui sont insolubles dans l'eau, mais solubles dans les citrates et considérés comme capables de libérer leur teneur en phosphore dans les solutions du sol. Le total de ces deux phosphates métalliques a un effet nocif sur les propriétés de manipulation du produit s'il dépasse une valeur donnée.

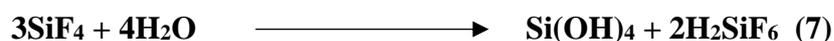


Les fluorures et les silicates réagissent par combinaison avec l'acide phosphorique en donnant des monohydrates de phosphate monocalcique supplémentaire, qui est un engrais désiré, ainsi que du gaz de tétra fluorure de silicium, qui est une grande nuisance en tant que produit secondaire.



Le gaz tétra-fluorure de silicium évolue à des concentrations acides élevées et/ou à des températures élevées. Le gaz évolué est très réactif avec l'eau en phase liquide et forme de l'acide silicique et de l'acide fluosilicique. Ce gaz réagit aussi avec la vapeur d'eau condensée à l'intérieur des conduits de fumée. L'acide fluosilicique, ainsi formé, est soluble dans l'eau.

En outre, l'acide silicique est une matière gélatineuse insoluble, il forme un dépôt solide sur les surfaces intérieures et nécessite un nettoyage périodique.



Chapitre II

Sous l'influence de la chaleur, le phosphate monocalcique monohydraté a tendance à s'hydrolyser comme suit :



L'acide libéré dans la réaction (8) est donc disponible à réagir avec la roche phosphatée afin de produire du phosphate monocalcique monohydraté supplémentaire selon la réaction (1).

Une fois refroidi, l'acide libre réagit aura tendance à se recombinaison avec le phosphate dicalcique. Cette réaction sera la réaction inverse de la huitième. L'objectif est que le produit TSP contienne des quantités minimales d'acide libre, de phosphate dicalcique et de roche intéressée.

2. Granulation

La fonction du système de granulation est de transformer la bouillie provenant de la cuve d'attaque en un engrais granulaire d'une qualité chimique et d'une taille requise. La granulation se fait dans un granulateur à tambour M01 (figure 4), où la bouillie de TSP est rejetée sur un lit de matière sèche recyclée, composés fins, de restes broyés, d'une partie de produit commercial retourné au granulateur et de déversements.

La bouillie est déchargée par gravité sur le lit solide par un distributeur I04 déjà situé à l'intérieur du granulateur.

Le mouvement rotatif du tambour du granulateur favorise une distribution uniforme de la bouillie sur la surface des granulés, et produit un granule très uniforme, dur, bien arrondi et en couches. Cette mince pellicule du lisier qui en résulte est facilement séchée dans le tube sécheur rotatif.

Le granulateur est incliné à 2.5% vers l'extrémité de rejet pour faciliter le transport de la grande charge de recyclage.

La profondeur du lit du granulateur peut être facilement ajustée, en agissant sur les plaquettes annulaires de soutènement, pour améliorer la distribution de la bouillie et changer le temps de séjour.

En cas de production TSP, les réactions se poursuivent dans le granulateur et le sécheur.

Le granulateur est recouvert en caoutchouc afin de minimiser l'accumulation de produit sur sa coquille et la formation de gros morceaux.

Le granulateur peut également être équipé d'un kicker à grumeaux pour empêcher toute grosseur de rester à l'intérieur du tambour, perturbant l'écoulement des solides et favorisant l'autre formation de groupement.

Le produit sortant du granulateur, dont la teneur en eau libre est normalement d'environ 7%, est alimenté par gravité au sécheur afin d'obtenir l'humidité demandée à la sortie du sécheur (environ 3.5%).

Une attention particulière devrait être accordée à la conception d'une glissière entre le granulateur et le tube sécheur afin d'éviter l'accumulation sur les parois et les effets néfastes potentiels du contact du produit avec les gaz chauds de la chambre à combustion. Cela comprend une section large et une pente élevée (65° minimum).

Les gaz produits du granulateur sont aspirés à l'aide d'un ventilateur vers le pré-laveur D03 afin de récupérer la majorité de la poussière évoluée et le fluor.

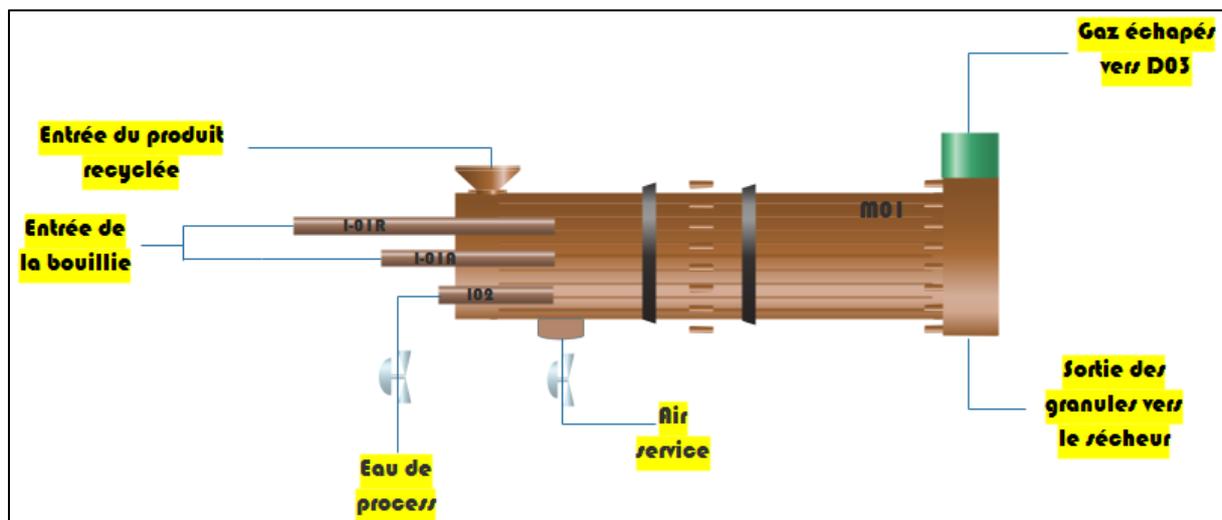


Figure 4: schéma descriptif du granulateur M01

3. Séchage

Dans le tube sécheur, les granules sont soulevés et cascades par un courant d'air chaud provenant de la chambre à combustion. Le sécheur est conçu pour une efficacité maximale et une accumulation minimale de matériaux internes (figure 5).

La chambre à combustion utilise le fuel lourd n°2 comme combustible afin de favoriser la combustion. L'air de combustion est alimenté par le ventilateur C03, et l'autre ventilateur C04 est utilisé pour réduire la température des gaz de combustion dans le brûleur, empêchant

Chapitre II

la surchauffe réfractaire. Enfin, l'air chaud va être transféré à l'aide du ventilateur C06 au tube sécheur avec un débit minimal.

Des températures élevées sont nécessaires pour sécher les granules et permettre à la réaction de continuer dans le sécheur. La température des gaz chauds entrant dans le sécheur est d'environ 400-500°C lors de la production TSP.

Le contrôle de la vitesse du séchage est basé sur la température des gaz d'entrée du sécheur (environ 450°C) ou la température des gaz de sortie du sécheur (qui est contrôlée à environ 105-110°C).

Un détecteur permet à l'opérateur de choisir la température avec laquelle on va opérer.

L'air sortant du sécheur contiendra du fluor dérivé du produit, ainsi que la poussière emportée et de l'eau évaporée du produit pendant le processus de séchage. Cet air est dirigé vers les cyclones S11 A/B/C/D afin de séparer la partie principale de la poussière transportant. Ces cyclones sont isolés et équipés de chaîne de nettoyage (avec des vibrateurs) pour éviter l'accumulation à l'intérieur des parois de cyclone. Quatre trémies individuelles sont installées pour recueillir la poussière séparée des cyclones, chacune avec sa soupape de décharge correspondante. La poussière déchargée rejoint le reste du produit recyclé en se dirigeant vers le convoyeur T11.

Après, les gaz seront dirigés vers le laveur D01, le ventilateur d'échappement du sécheur C07 est situé en aval du laveur et il est équipé d'un amortisseur d'admission pour réguler le débit d'air à travers le sécheur.

Chapitre II

Le produit à la décharge du sécheur coule à travers le grizzli, composé d'une barre grizzly équipée de trois grumeaux de levage. Les élévateurs et le grizzli en rotation produisent quelques grumeaux à désintégrer. Les morceaux brisés et les petits grains couleront à travers les barres de grizzli, tandis que les morceaux les plus durs seront élevés et finalement alimentés par l'élévateur au concasseur B01. Les grumeaux concassés surdimensionnés rejoignent ensuite le reste du produit dans le convoyeur de sortie du tube sécheur T12, qui alimente l'élévateur T02 transportant le produit séché vers les cribles.

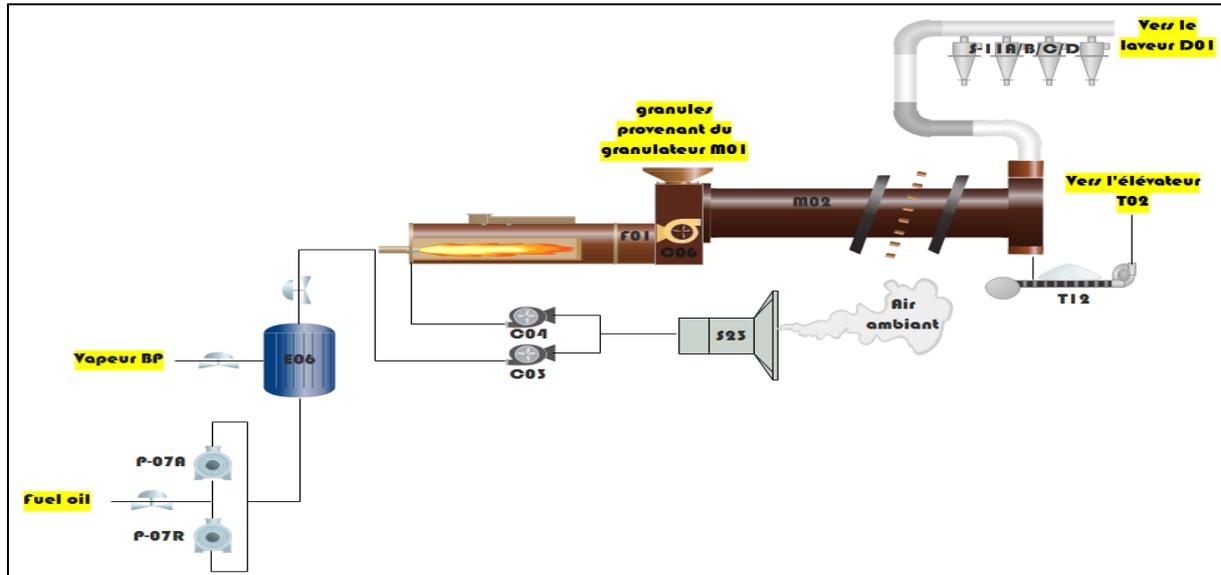


Figure 5: Schéma descriptif du sécheur et son système d'assainissement

4. Classification

Le produit provenant du sécheur passe par une séparation granulométrique permettant de fabriquer un produit marchand à la granulométrie requise entre 2 et 4 mm et d'extraire le produit de recyclage qui alimente le granulateur M01. Ce produit de recyclage s'agit de tous grains ayant un diamètre supérieur à 4mm ou inférieur à 2mm.

De ce fait, l'unité de production TSP est équipée de trois cribles S02 A/B/C à doubles étages munis de moteurs vibrants afin de répartir la marche sur toute la surface du crible et pour éviter l'agglomération des grains au sein des tamis.

Chacun de ces trois cribles est alimenté par un alimentateur S01 A/B/C, ce dernier est alimenté par un répartiteur Y01 qui est aussi alimenté à partir de l'élévateur T02.

En dessous de chaque crible on trouve un broyeur B02 A/B/C permettant d'écraser le refus des cribles ayant une taille supérieure à 4mm.

Chapitre II

Le refus des crible (granule dans la taille est inférieur à 2mm ou supérieur à 4mm) sera transmis par la bande T11 vers le granulateur pour être recyclé.

Alors que le passant va être transféré par la bande T13 vers le tamis finisseur qui va alimenter le convoyeur T14 qui transférera le produit marchand vers le hall de stockage.

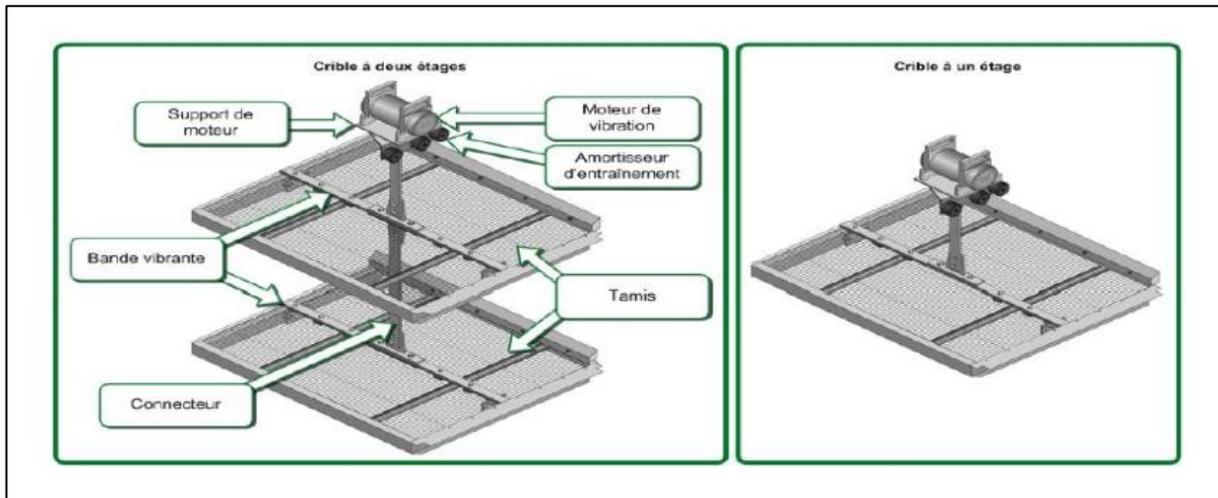


Figure 6: Schéma descriptif du crible

5. Stockage

Après la classification, le produit marchand ayant un diamètre compris entre 2 et 4 mm sera amené par la bande T13 vers le tamis finisseur. Cette étape « criblage finale » est très importante car elle permet de se débarrasser de toute granule non conforme qui était passée avec le produit marchand lors de l'étape de la classification. Après le produit va être transmis au hall du stockage à l'aide du convoyeur T14.

6. Lavage des gaz

Les gaz sortant de la cuve et du granulateur sont humides et contiennent des poussières et des gaz, dont en particulier, le fluor dégagé lors de l'attaque. Ces gaz sont lavés dans le pré-laveur D03 qui alimenté par le liquide du lavage du bac R03.

L'assainissement est assuré par des ventilateurs en divers points de l'unité : Cribles, répartiteurs, broyeurs et bande de recyclage. Les gaz sont dépoussiérés au niveau d'une série de trois cyclones avant d'être lavés dans le laveur D02.

Les gaz issus du sécheur, contenant des poussières, sont assainis dans un premier temps au moyen d'une batterie de quatre cyclones puis lavés dans le laveur D01.

Chapitre II

Finalement, les gaz issus des laveurs D01 et D02, sont lavés dans la tour de lavage finale par une solution contenant principalement de l'eau de process afin de réduire les émissions des poussières.

Après l'étape de lavage, les gaz sont émis vers l'atmosphère.

Le schéma suivant montre les étapes de la production des triples super phosphates (TSP) en partant de la matière première et en arrivant à l'étape de conditionnement.

VII. Cahier de charge du projet.

Cette partie est consacrée à l'élaboration de la démarche de travail pour la réalisation de ce projet.

- *Présentation du cahier de charge du projet*

Ce travail rentre dans le cadre d'une politique visant l'amélioration globale de l'étape de production concernant le lavage des effluents émis lors de la fabrication TSP afin de protéger l'environnement contre tout agent polluant permettant de contaminer l'atmosphère, les plantes, les êtres humains, etc...

En vue de déployer et pérenniser les recommandations mises en œuvre par cette politique, il m'est demandé de mener une étude visant l'usure prématurée des instruments et pulvérisateurs de la section de lavage de la ligne 307 TSP, suivant la méthodologie suivante :

- ✓ Etude détaillée de la section de lavage de la ligne TSP en déterminant tous les équipements présents dans cette section et leur rôle.
- ✓ Identification des types des arrêts de la section de lavage de la ligne TSP.
- ✓ Analyse des données statistiques et détermination des facteurs permettant la dégradation des différents équipements de la section de lavage de la ligne TSP.
- ✓ Elaboration d'un plan d'action afin de remédier aux problèmes de l'usure prématurée des équipements pour avoir un lavage qui respecte les normes exigées permettant la protection de l'environnement.

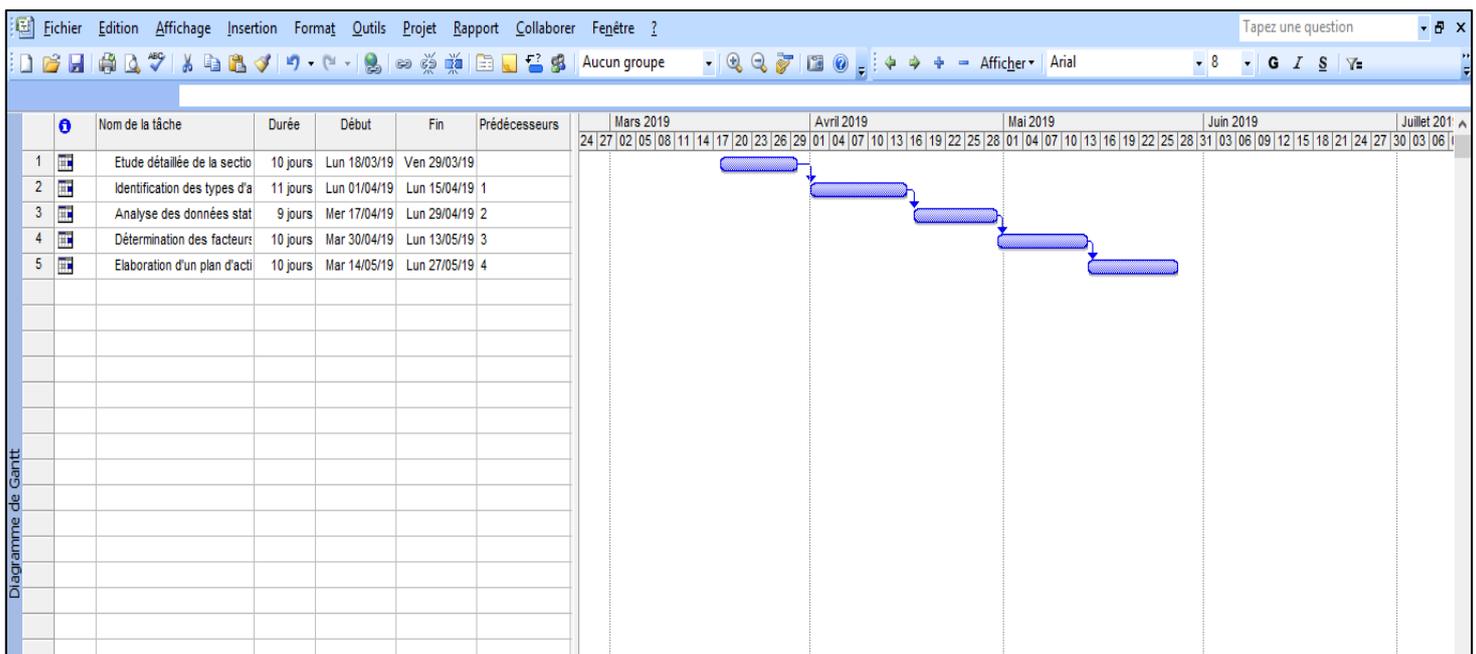


Figure 8 : Planification du projet à traiter

CHAPITRE III : Etude détaillée de la section de lavage de la ligne 307, identification des types des arrêts & analyse des données statistiques.

Chapitre III

I. Définition de la problématique et l'objectif à atteindre.

Afin de définir le problème à traiter on va utiliser la méthode **QQOCQP**. Cette méthode permet de bien comprendre la problématique en allant à la source afin de trouver tous les facteurs contributifs.

Qui ? Qui est concerné par le problème ?	Les agents de l'unité 307 de la production TSP (atelier engrais JFC V).
Quoi ? C'est quoi le problème ?	L'usure prématurée des différents équipements de la section de lavage (pompes, tour de lavage, circuit d') de l'atelier de production d'engrais TSP 307.
Où ? Où apparaît le problème ?	Au niveau des différents équipements de la section de lavage de la ligne 307 TSP.
Quand ? Quand apparaît le problème ?	L'apparition du problème est liée à la nature et la composition du liquide de lavage circulant dans tous les équipements de la section de lavage.
Comment ? Comment résoudre le problème ?	Faire une étude de toutes les anomalies qui appartiennent dans la section de lavage et faire les prélèvements de chaque point critique en déterminant la nature et la composition du liquide de lavage traversant l'équipement.
Pourquoi ? Pourquoi voulons – nous résoudre ce problème ?	Augmenter la performance de la section de lavage afin d'avoir une épuration des gaz qui respecte les normes exigées par l'état et par les différents pays du monde ciblant à protéger notre environnement.

Tableau 1: Méthode QQOCQP

II. Description du système de lavage de l'unité de production TSP.^[1]

Un puissant système d'épuration a été conçu par Incro, non seulement pour se débarrasser des effluents des flux gazeux, mais aussi pour récupérer les poussières contenant les traces d'engrais.

Le système de lavage de cette installation se compose de trois étapes de lavage :

- ✓ 1^{ère} étape : Prélaveur de granulateur, une venturi à basse pression avec laveur à tour cyclonique qui inclut aussi un laveur de conduites.

Chapitre III

- ✓ 2^{ème} étape : Un laveur approprié au sécheur, ce dernier est un laveur à venturi avec une tour séparatrice cyclonique.
- ✓ 3^{ème} étape : Epurateur des gaz en deux étapes :
 - Epurateur de lavage des conduites.
 - Epurateur de gaz d'échappement. (Autolaveuse à tour emballée).

L'usine utilise de l'eau de process dans les différentes étapes de lavage.

Les gaz provenant du réacteur/granulateur TSP (chargés en fluorure) sont d'abord rudement lavés dans une conduite située entre le tambour granulateur et le prélaveur. Le but de cette étape est de garder la conduite toujours propre, atteindre un lavage préliminaire et atteindre la saturation des gaz.

Après le lavage des conduites, les gaz vont être conduits vers le prélaveur D03, qui se compose d'un épurateur venturi de basse pression avec tour de séparation cyclonique. L'épurateur est traversé par une solution d'eau contenant des poussières TSP alimentées à partir des pompes P03 A/R.

Le prélaveur propre au granulateur rejette la solution d'eau circulée dans le réservoir du prélaveur R03, à partir duquel les pompes P03 A/R assure la circulation du liquide de lavage.

L'acide fluorique formé par la réaction du tétra-fluorure de silicium est échappé du réacteur/granulateur TSP par l'eau. Environ 70% à 80% du fluorure contenu dans les gaz est éliminé dans le pré-laveur.

Les gaz du prélaveur sont ensuite amenés avec les effluents de l'équipement (gaz de dépeussierage) à la deuxième étape de lavage, comprenant également l'épurateur du sécheur, pour les gaz provenant des cyclones de séchage. Les deux laveurs sont de type venturi, avec des pulvérisations supplémentaires sur le bras d'alimentation horizontal de la tour de séparation cyclonique.

Les deux laveurs déchargent la solution d'eau de circulation dans un réservoir de circulation commun R02, d'où les pompes P02 A/B/R assurent la circulation. Dans cette étape, la solution à laver est moins concentrée en fluorure et en solide que celle circulée lors de la première étape de lavage car la majeure partie du fluorure a déjà été récupérée dans le prélaveur.

Après avoir traversé le laveur D02, les gaz d'échappement provenant du granulateur, ainsi que les gaz provenant du sécheur, passent par la troisième étape de lavage, ce laveur est actionné respectivement par les ventilateurs C08 et C07.

Comme il est mentionné précédemment, les gaz des cyclones refroidisseurs se joindront également aux gaz susmentionnés dans la conduite du laveur D04.

Le laveur D04 comporte deux étapes de lavage, au cours desquelles l'élimination de tous les effluents sera terminée. La première comprend une section de lavage de conduites horizontales à plusieurs jets avant la tour cyclonique. La deuxième étape est utilisée comme agent de lavage, la circulation étant assurée par les pompes P04 A/R. Cette étape comprend une section de garnissage lavée dans la tour cyclonique verticale, utilisant l'eau douce comme agent de lavage, afin d'améliorer la récupération du fluor. La pompe P04 B assure la circulation de l'eau nécessaire en aspirant à partir d'une fosse surélevée située sur le plateau de séparation gaz liquide. La pompe P04 R sera également utilisée comme pompe de rechange, si nécessaire. Enfin au sommet de la tour, un système de désembuage relativement large et ouvert sera installé pour éliminer la plupart des gouttelettes entraînées.

Le choix du matériau qui compose la tour de lavage est une question critique, car il doit assurer une efficacité de lavage élevée, avec une perte de charge minimale et une résistance élevée au colmatage.

Les gaz passant par le laveur final D04, après lavage, sont finalement évacués dans l'atmosphère.

III. Nature de liquide de lavage circulant dans la tour de lavage.

Dans les sections de récupération des gaz, ces derniers sont lavés avec de l'eau afin d'avoir une élimination efficace du fluor. L'eau de process utilisée dans les laveurs des gaz, après des recirculations successives, contiendra une certaine quantité de fluor, ce qui créerait directement une concentration en équilibre de fluor dans les gaz d'échappement au-delà de la limite requise. Une purge d'eau entre le laveur D02 et le réservoir d'épuration R02 est donc nécessaire pour éviter ce problème. La solution d'eau venant du pré-laveur approprié au granulateur sera acheminée vers le réservoir R01, où elle sera mélangée avec le reste d'acide phosphorique frais non précédemment alimenté au système de lavage, jusqu'à atteindre la concentration requise de 40 – 42% en P_2O_5 .

Chapitre III

Afin d'obtenir un mélange cohérent, ce réservoir est équipé d'un agitateur A01. Les pompes P01 A/R alimentent la cuve d'attaque par H_3PO_4 préparé précédemment dans le réservoir R01.

Les débordements occasionnels des réservoirs sont recueillis dans une citerne R04, d'où ils seront retournés au procédé au moyen de la pompe P05. Un agitateur A04 a été installé dans la cuve de puisard pour récupérer le maximum du contenu de cette cuve tout en évitant la décantation excessive de solides.

Une pompe P06 est également installée pour transmettre l'anti-mousse à tous les laveurs et réservoirs où l'acide phosphorique est utilisé, afin d'empêcher la formation de mousse.

Le débit des liquides entrant dans l'unité sera automatiquement contrôlé et mesuré.

L'alimentation en acide phosphorique sera contrôlée par un débitmètre magnétique.

Le transfert de liquide de lavage entre les différents épurateurs sera également mesuré par un débitmètre à masse de type Coriolis.

L'acide phosphorique entrant dans la cuve d'attaque sera également mesuré par des débitmètres à masse de type Coriolis.

La figure suivante présente un schéma du système de lavage des gaz se trouvant au sein de ligne de production des triples super phosphates TSP :

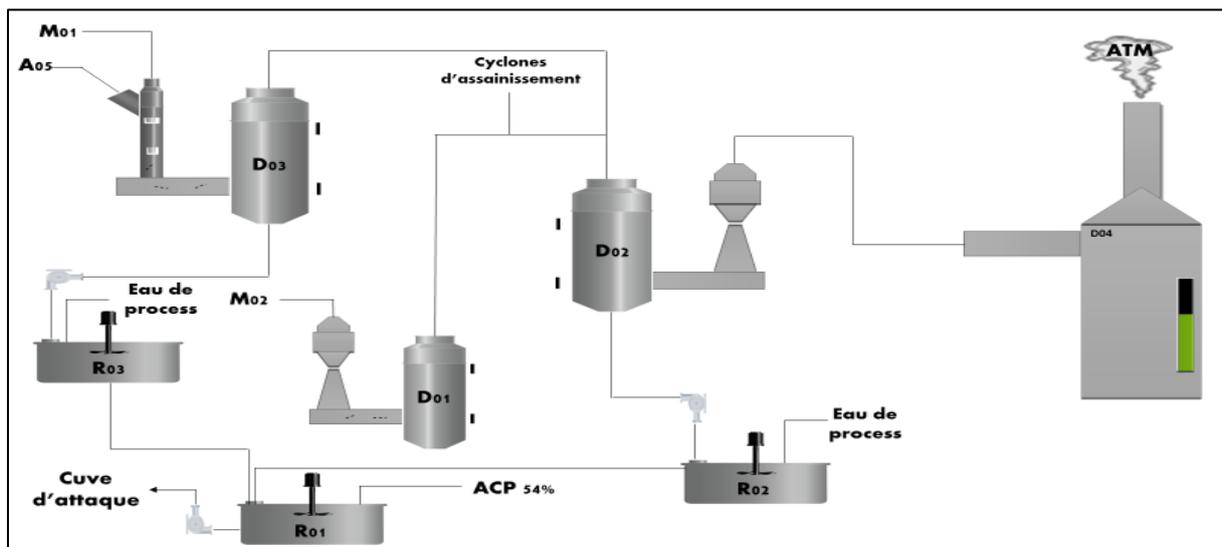


Figure 9: Schéma descriptif du système de lavage.

IV. Système de dépoussiérages.

Un système de dépoussiérage a été inclus, équipé d'une injection d'air chaud à différents points d'aspiration, pour éviter un environnement poussiéreux dans la zone de production.

Les trois cyclones de dépoussiérage S12 A/B/C sont séparés pour permettre un agencement plus vertical de toutes les conduites allant aux cyclones à partir des différents points de collecte.

L'air préchauffé dans l'échangeur E05 sera introduit dans certains points de réglage critiques (concasseurs, cribles et convoyeurs) au moyen du ventilateur de dépoussiérage C09, qui est équipé d'un filtre d'entrée S24.

L'air chauffé empêche les condensations de vapeur à l'intérieur des conduites du système de réglage, ce qui entraînera des accumulations de poussières collantes.

V. Identification des types des arrêts de la section de lavage de la ligne 307 & analyse des données statistiques.

Le présent chapitre vise à détecter toutes les anomalies constatées dans la section de lavage de la ligne 307 TSP afin de les analyser et identifier les arrêts majeurs qui se produisent dans cette section. Pour cette raison, on s'est amené à faire une étude des arrêts produits lors des deux années 2018 et 2019.

1. Identification des arrêts de la section de lavage de la ligne 307 TSP^[5]

Pour identifier les arrêts produits dans la section de lavage de la ligne 307 TSP, on va se baser sur les arrêts produits lors de ces deux dernières années 2018 et 2019.

Anomalies constatées	Equipement	Effectif (n)
Fuite entre bride au refoulement de la pompe P01 R.	Pompe P01 R	11
Chasse du circuit d'ACP 42% vers la pompe P01 R et CA.	Circuit ACP 42% vers CA	5
Fuite entre brides au refoulement de la pompe P01 A.	Pompe P01 A	3
Changement de la vanne du collecteur au refoulement des pompes P02 A/R.	Pompe P02 A/R	2
Fuite au refoulement de la pompe P01 R.	Pompe P01 R	2

Chapitre III

Fuite sur circuit ACP 42% vers la cuve d'attaque.	Circuit ACP vers CA	1
Bouchage du circuit de retour de la tour D01 vers R02.	Tour de lavage D01	1
Changement des brides dégradés des injecteurs ACP.	Injecteurs ACP	1
Changement de brides au refoulement de la pompe P01 R	Pompe P01 R	1
Fuite au circuit d'eau de process vers U306.	Circuit eau de process	1
Fuite entre bride au circuit de refoulement d'ACP 42%.	Circuit ACP 42%	1
Fuite d'ACP entre brides sur la vanne de purgeage du bac R01.	Bac R01	1
Fuite SVR au niveau : 2 ^{ème} pulvé du couloir D02, au collecteur et au venturi de D02.	Tour D02	1
Fuite au circuit de refoulement de la pompe P01 R.	Pompe P01 R	1
Fuite entre bride au refoulement de la pompe P01 R après débitmètre FIC407.	Débitmètre FIC 407	1
Fuite d'ACP entre brides au circuit d'aspiration de la pompe P01 R.	Pompe P01 R	1
Fuite d'ACP au niveau de refoulement de la pompe P01R.	Pompe P01 R	1
Chasse d'injecteurs d'ACP 42%.	Injecteurs ACP 42%	1
Fuite entre bride sur circuit ACP 42%.	Circuit ACP 42%	1
Changement de la pompe P01 A.	Pompe P01 A	1
Changement de la pompe P02 R.	Pompe P01 R	1
Chasse du circuit d'ACP 42% vers la pompe P01 A suite au débit limité.	Pompe P01 A	1
	Somme	40

Tableau 2: Arrêts constatés au niveau de la section de lavage

Chapitre III

2. Détermination des équipements critiques

Équipement	Effectif (n)	Fréquence (f)	FCC
Pompe P01 R	18	0,45	0,45
Circuit ACP 42% vers CA	8	0,2	0,65
Pompe P01 A	5	0,125	0,775
Pompe P02 A/R	2	0,05	0,825
Injecteur ACP	2	0,05	0,875
Tour de lavage D01	1	0,025	0,9
Circuit eau de process	1	0,025	0,925
Bac R01	1	0,025	0,95
Tour de lavage D02	1	0,025	0,975
Débitmètre FIC 407	1	0,025	1
Total	40		

Tableau 3: détermination des équipements critiques

3. Diagramme Pareto et analyse des données statistiques

D'après l'analyse des arrêts présents dans le tableau ci-dessus, on a pu tracer le diagramme Pareto suivant :

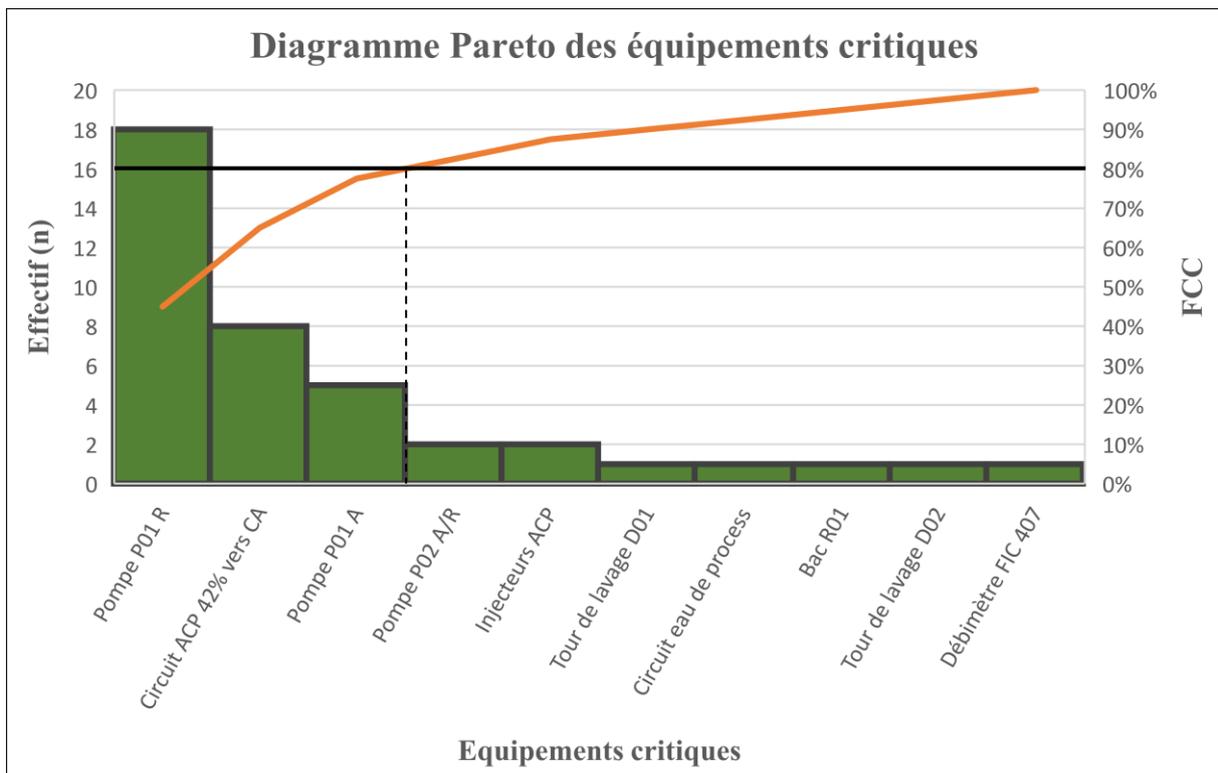


Figure 10: Diagramme Pareto des équipements critique

Chapitre III

D'après le diagramme Pareto précédent et selon la **loi 80-20**, on trouve que **80% des arrêts** produits dans la section de lavage de la ligne 307 de la production TSP sont causés par les équipements suivants : **Pompe P01 R, circuit ACP 42% vers CA** et **pompe P01 A**. Alors dans le chapitre suivant, on va se focaliser sur les causes de dégradation des équipements cités précédemment.

Chapitre IV : Détermination des facteurs permettant la dégradation des pompe P01 A/R, du circuit ACP 42 % alimentant la cuve d'attaque & élaboration des plans d'action.

I. Le circuit ACP 42%.

Le circuit ACP 42% est sous forme de grands tubes de nature SVR (matériau composite stratifié verre-résine) reliant le réservoir R01 et la cuve d'attaque. Ces tubes sont sous forme d'un mélange de résine polyester et des fibres de verre de type E. Et comme il est mentionné précédemment, la préparation de l'acide phosphorique 42% se fait dans le réservoir R01 en ajoutant le liquide de lavage du préleveur D03 approprié au granulateur et à la cuve d'attaque ainsi celui du préleveur D02 approprié au sécheur à l'acide phosphorique 54% provenant de l'atelier phosphorique.

Alors quels sont les agents importants responsable de la détérioration de ce circuit ?

Afin de répondre à cette question, on s'est amené à faire une recherche bibliographique concernant le matériau composite SVR.

1. Le matériau composite.^[2]

Un matériau est dit composite lorsqu'il est constitué de deux ou plusieurs éléments distincts et non miscibles dont les qualités se combinent avec synergie pour réaliser des propriétés particulières en réponse à un besoin spécifié.

Les plus répandus et possédant des propriétés mécaniques exceptionnelles sont ceux constitués de deux phases :

- ✓ Un matériau résineux : **La matrice.**
- ✓ Un matériau fibreux : **les renforts.**

2. Le matériau composite de type SVR.^[2]

Le matériau composite de type SVR est constitué de deux matériaux de base, la fibre de verre et la résine polyester. Ce type de matériau est apparu à la 2^{ème} guerre mondiale grâce à une révolution quasi-totale dans certain domaine dont la construction navale de plaisance.

a. Les résines

Le résine polyester est un liquide visqueux de 2 à 5 poises à 20°C. Ce liquide dit polyester insaturé comprend :

- Des chaînes polyesters comprenant des doubles liaisons.
- Des doubles liaisons du styrène.

Ces chaînes polyesters sont obtenues par estérification d'un dialcool et d'un diacide selon la réaction suivante :



Le durcissement par addition d'un agent durcisseur qui favorise l'association des doubles liaisons du styrène et des doubles liaisons de polyester insaturé, crée un réseau tridimensionnel rhéologiquement dur. Les résines standards sont à base d'acide orthophtalique.

b. Les fibres de verre

Ce sont elles qui constituent la partie résistance d'un matériau et qui lui apportent, dans une certaine mesure, ses propriétés mécaniques. Cette fibre, aux propriétés bien définies, permet d'obtenir des composites mécaniquement différents en fonction de leur présentation.

La fibre de verre est obtenue par fusion directe de billes de verre et passage dans des filière pour obtenir un monofilament d'un diamètre de 3,6 à 16 microns après étirement. Le fil est constitué de 800 monofilaments qui est revêtu d'une mince pellicule d'ensimage.

Ce dernier a un triple but :

- Permettre la liaison de la résine avec le verre au moment de la stratification.
- Protéger le filament au cours de la fabrication en tissu.
- Lier les monofilaments entre eux pour qu'ils forment un fil de base.

3. Facteurs permettant la dégradation du matériau composite SVR.^[2]

a. Corrosion des polymères.

i. Le terme « corrosion »

Le terme corrosion est généralement employé pour les matériaux métalliques et pour les matériaux polymères, on a tendance à parler de vieillissement. Cependant, si on se réfère à la définition dans un dictionnaire, la corrosion est la « dégradation d'un matériau sous l'action du milieu ambiant et par un processus autre que mécanique ». La corrosion des métaux est souvent confondue à tort à la corrosion électrochimique. Il est donc évident qu'il n'y a pas de corrosion électrochimique des polymères.

D'ailleurs une des différences importantes entre les polymères et les métaux est qu'il n'y a pas souvent une altération apparente immédiate, ce qui favorise l'utilisation du mot vieillissement plutôt que corrosion.

ii. Le vieillissement chimique des polymères

Le vieillissement chimique des matériaux polymères est un processus de corrosion / vieillissement qui entraîne des modifications de la structure chimique des macromolécules. Ces modifications sont dues à l'action de l'environnement extérieur.

Les principaux mécanismes qui rentrent en jeu sont les réactions qui ont lieu avec des acides ou des bases. Les deux mécanismes principaux sont : **l'hydrolyse et l'oxydation**.

- *L'hydrolyse :*

Le mécanisme général de l'hydrolyse est présenté dans le schéma suivant :

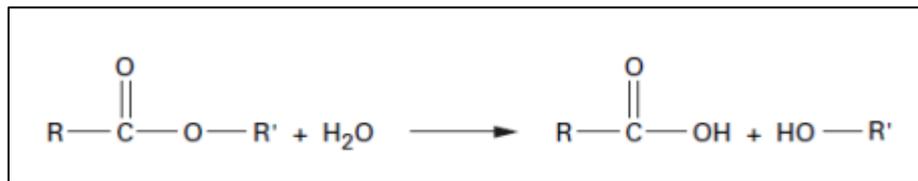


Figure 11: Mécanisme général de l'hydrolyse.

Ce mécanisme peut avoir lieu sur les groupements ester contenus notamment dans les polyesters tridimensionnels. Celui-ci peut être catalysé par les acides ou les bases.

La réaction d'hydrolyse va généralement entraîner une coupure statistique de chaînes.

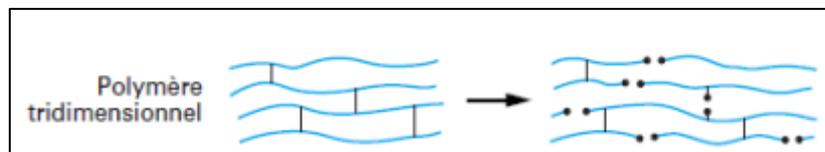


Figure 12: Coupures statistiques dans un polymère tridimensionnel.

Le terme de coupure statistique est utilisé pour décrire la répartition aléatoire des ruptures sur les chaînes macromoléculaires.

Cette coupure statistique va provoquer une chute de la masse molaire moyenne en nombre et donc une diminution des propriétés mécaniques, ainsi que le comportement élastique (module d'élasticité) est peu modifié par le vieillissement.

- *L'oxydation :*

Les processus d'oxydation sont considérés comme étant des processus radicalaires en chaîne, qui ont lieu en présence d'oxygène. Le mécanisme général est constitué de plusieurs phases : l'amorçage, la propagation et la terminaison. L'amorçage peut être réalisé par voie chimique avec la mise en contact d'un réactif oxydant du type acide nitrique fumant, permanganate de potassium, bichromate de potassium, etc...

Les conséquences mécaniques de l'oxydation, provoquant également des coupures de chaînes, sont présentés comme étant les mêmes que celles de l'hydrolyse.

b. Corrosion des fibres de verre.

i. Les fibres de verre

Les fibres de verre sont des matériaux largement utilisés pour le renforcement des composites, pour leurs qualités spécifiques, à savoir leur très bonne résistance mécanique à la traction, leur forte résistivité électrique, leur inertie thermique et leur bonne résistance chimique.

ii. La corrosion des fibres de verre de type E en milieu acide

Plusieurs études ont montré que la résistance des fibres de verre de type E est faible pour les acides et les bases.

L'acide fluorhydrique est l'un des seuls acides connus capables de dissoudre le verre. Le verre est constitué principalement de silice. La dissolution a lieu suivant l'équation suivante :



Bien qu'il n'existe pas de phénomène avéré de corrosion aqueuse sur les composites, d'autres processus se mettent en place. La corrosion de verre est un phénomène moins connu mais cependant très important car la résistance mécanique du SVR en dépend. En dehors de l'acide fluorhydrique capable de dissoudre le verre, d'autres acides (sulfurique et chlorhydrique) sont susceptibles d'attaquer la surface des fibres de verre. Le mécanisme appelé **désalcalinisation** de la surface, se traduit par un échange d'ions entre la solution aqueuse et la surface de la fibre de verre.

Par exemple dans le cas de l'acide chlorhydrique ou sulfurique, les ions Ca^{2+} et Al^{3+} de la fibre de verre sont remplacés par des ions H^+ à la surface selon l'équation suivante :



Les barres montrent l'association des ions à la fibre de verre.

Cet échange des ions provoque l'affaiblissement de la fibre.

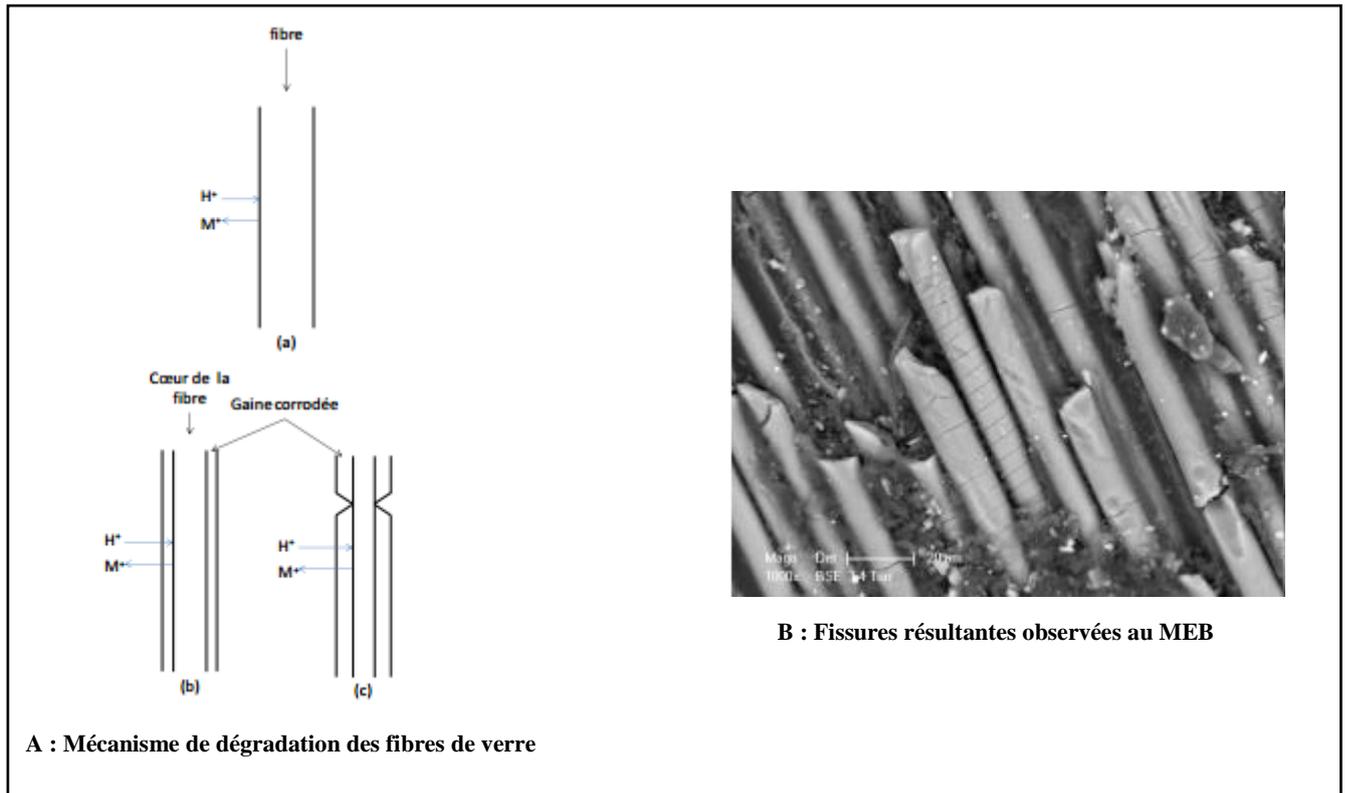


Figure 13 : Mécanisme de rupture provoqué par la corrosion de la fibre de verre E

Ce processus produit progressivement une gaine extérieure appauvrie en ions Ca^{2+} et Al^{3+} et un noyau non corrodé, comme le montre la figure suivante :

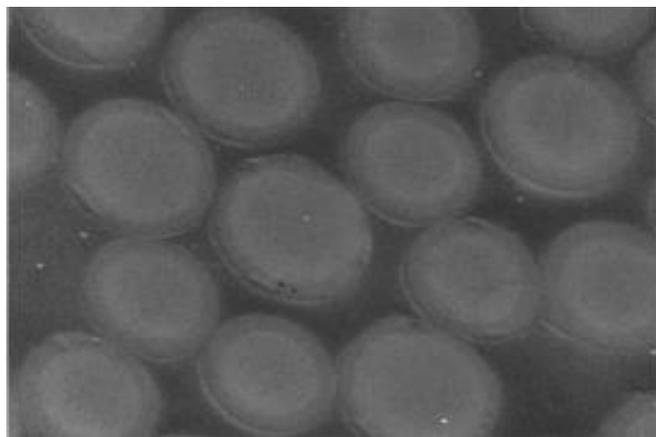


Figure 14: Image MEB de faisceaux de fibres de verre

4. Facteurs permettant la détérioration du circuit ACP 42%.

Comme il est mentionné précédemment, l'acide phosphorique 42% est préparé en mélangeant le liquide de lavage provenant du préleveur approprié à la cuve d'attaque et au granulater ainsi que celui provenant du laveur approprié au sécheur et l'acide phosphorique 54%.

Le liquide de lavage, selon l'étude faite au chapitre V, est un mélange formé par l'eau de process ainsi par les gaz émis par la cuve d'attaque, le granulateur et par le sécheur (acide fluorhydrique), ce liquide contient aussi des particules des phosphates broyés captées par les cyclones d'assainissement.

L'acide phosphorique, selon l'annexe 1, contient un excès de H_2SO_4 .^[4]

Alors selon l'étude du matériau de ce circuit qu'on a fait précédemment, on trouve que trois facteurs principaux permettant le vieillissement de ce matériau :

- ✓ **L'eau de process** utilisée dans l'étape de lavage permet l'hydrolyse de la résine qui constitue ce matériau.
- ✓ **L'acide fluorhydrique** contenu dans le liquide de lavage ainsi que **l'excès de l'acide sulfurique** contenu dans l'acide phosphorique 54% permettent la corrosion de la fibre de verre.

➡ **Alors les fissures observées sur ce circuit sont causées principalement par les facteurs cités ci-dessus (eau de process, acide fluorhydrique et acide sulfurique).**

II. Les pompes P01 A/R.

Les pompes P01 A/R sont construites par l'acier inoxydable A2-70 (AISI 3041). Ces dernières permettent d'alimenter la cuve d'attaque par l'acide phosphorique 42% préparé précédemment dans le bac R01.

Selon l'étude faite précédemment, on a constaté que ces pompes se dégradent au niveau des brides.

➡ **Alors quelles sont les causes principales de la détérioration de ces pompes ?**

Afin de répondre à cette question, nous sommes amenés à faire une étude sur l'acier inoxydable 3041.

1. L'acier inoxydable.^[6]

L'acier inoxydable est un alliage de fer comportant au moins 10,5% de chrome (Cr) et au plus 1,2% de carbone (C) nécessaire pour garantir la formation d'une couche de surface auto-

Chapitre IV

régénératrice (couche passive) qui apporte la résistance à la corrosion. Le processus peut prendre quelques heures après une altération de la surface.

i. Principales familles :

- **Austénique** : fer-chrome-nickel, carbone $< 0,1$ %, représente plus de 65% de l'utilisation d'acier inoxydable, notamment dans les luminaires.
- **Ferritique** : fer-chrome, carbone $< 0,1$ %, magnétique.
- **Martensique** : fer-chrome, carbone $> 0,1\%$, magnétique et apte à la trempe.
- **Duplex** : fer-chrome-nickel, structure mixte austénique-ferritique, magnétique.

Le fer, constituant majoritaire des aciers, s'oxyde facilement, la produit de corrosion, la rouille, s'effrite ou se dissout dans l'eau, ce qui crée une dégradation de la pièce.

Une des manières à éviter la corrosion consiste à mettre une quantité importante de chrome (Cr) dans l'acier (plus de 10,5% en masse) : le chrome réagit avec le dioxygène de l'air et forme une couche d'oxyde de chrome.

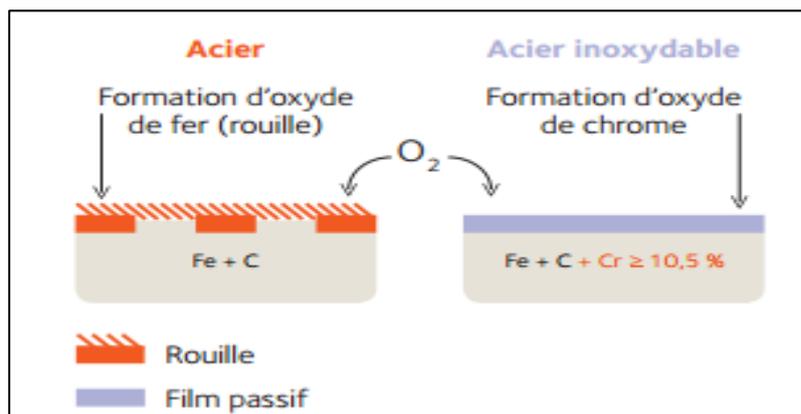


Figure 15: Réaction de l'acier et l'acier inoxydable avec l'eau et l'air

L'addition de divers éléments d'alliage permet de s'adapter au milieu spécifique dans lequel doit être utilisé l'acier, et de modifier ses propriétés mécaniques :

- ✓ L'ajout du nickel améliore les propriétés de la couche passive ; celui-ci s'intègre à la couche d'oxyde.
- ✓ Le carbone en haute teneur permet de tremper l'acier et d'obtenir un acier martensitique, très dur ; mais le carbone nuit à la soudabilité, et par ailleurs, peut piéger le chrome et gêner la formation de la couche passive.
- ✓ D'autres éléments d'alliage, pour l'essentiel des métaux relativement « nobles » comme le molybdène, le titane, le cuivre améliorent encore la résistance chimique, en particulier dans les milieux non oxydants.

2. Acier inoxydable A2-70 (AISI 304L)^[8]

L'acier inoxydable 304L appartient à la famille des austénitiques, il est composé selon l'annexe 2 de carbone, silicium, manganèse, phosphore, soufre, chrome, nickel, cuivre et parfois le molybdène selon les besoins du fabricant et du client.

i. Caractéristiques chimiques et mécaniques :

Ces aciers sont les plus connus et les plus employés parmi les aciers inoxydables. Ils contiennent, outre une teneur en chrome minimale de l'ordre de 17%, du nickel (généralement 7% et plus) et des additions éventuelles de molybdène, titane, niobium, ...

Afin de réduire la susceptibilité à l'érouissage, du cuivre peut être ajouté à ces aciers.

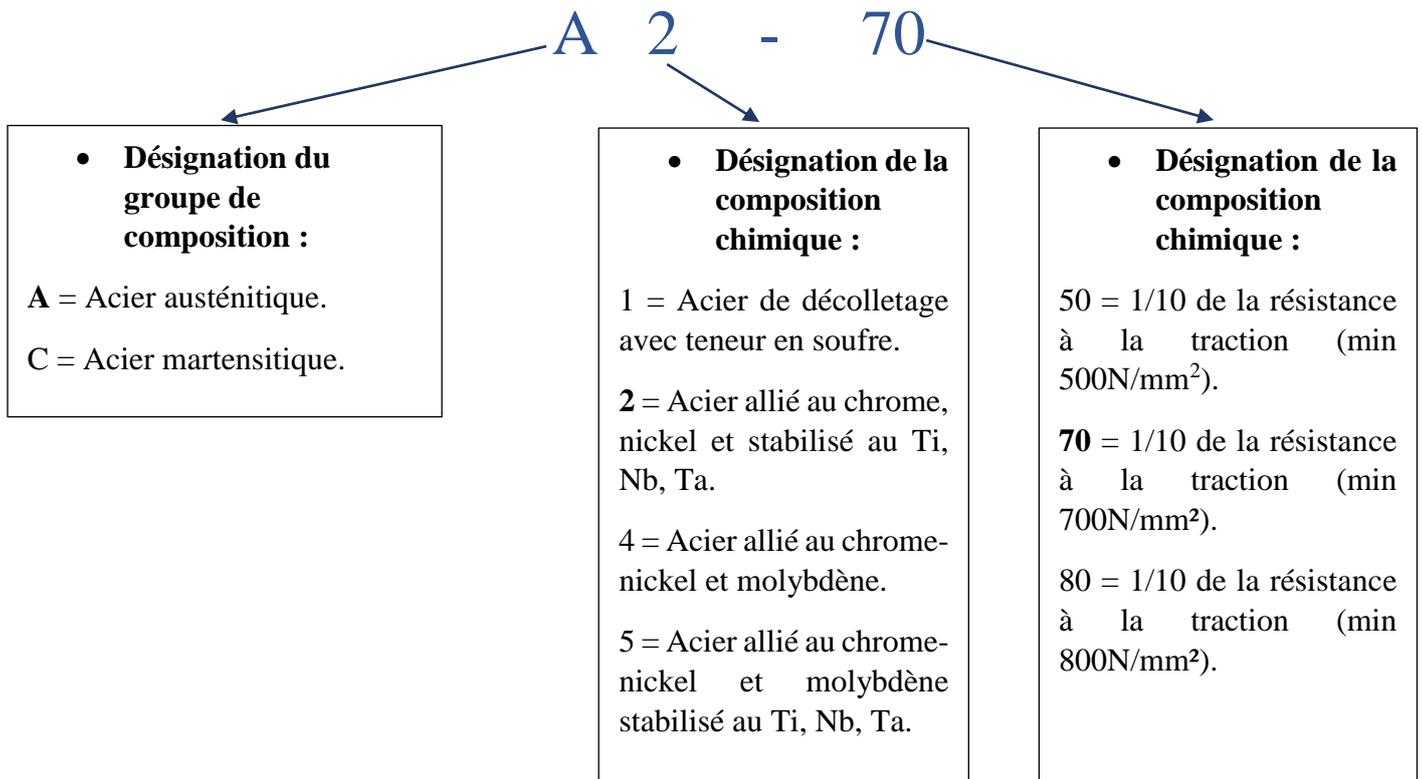
Leurs caractéristiques mécaniques en traction sont généralement modestes mais peuvent être, pour certaines nuances considérablement accrues par érouissage. Ils sont par contre très indiqués, par leur absence de fragilité à basse température pour les emplois cryogénique.

Leur tenue à la corrosion augmente avec les teneurs en chrome et en molybdène : leur résistance à l'oxydation croît avec leur teneur en chrome.

L'introduction d'éléments stabilisants tels que le titane ou le niobium permet d'éviter la corrosion intergranulaire, en particulier sur les soudures, et accroît la résistance mécanique à haute température.

Température d'emploi admise est entre -200°C et +400°C.

ii. Désignation A2-70 :^[7]



A2-70 indique un acier austénitique écroui à froid, dont la résistance à la traction est égale à 700N/mm² (700 MPa).

3. Notion de la corrosion.^[6]

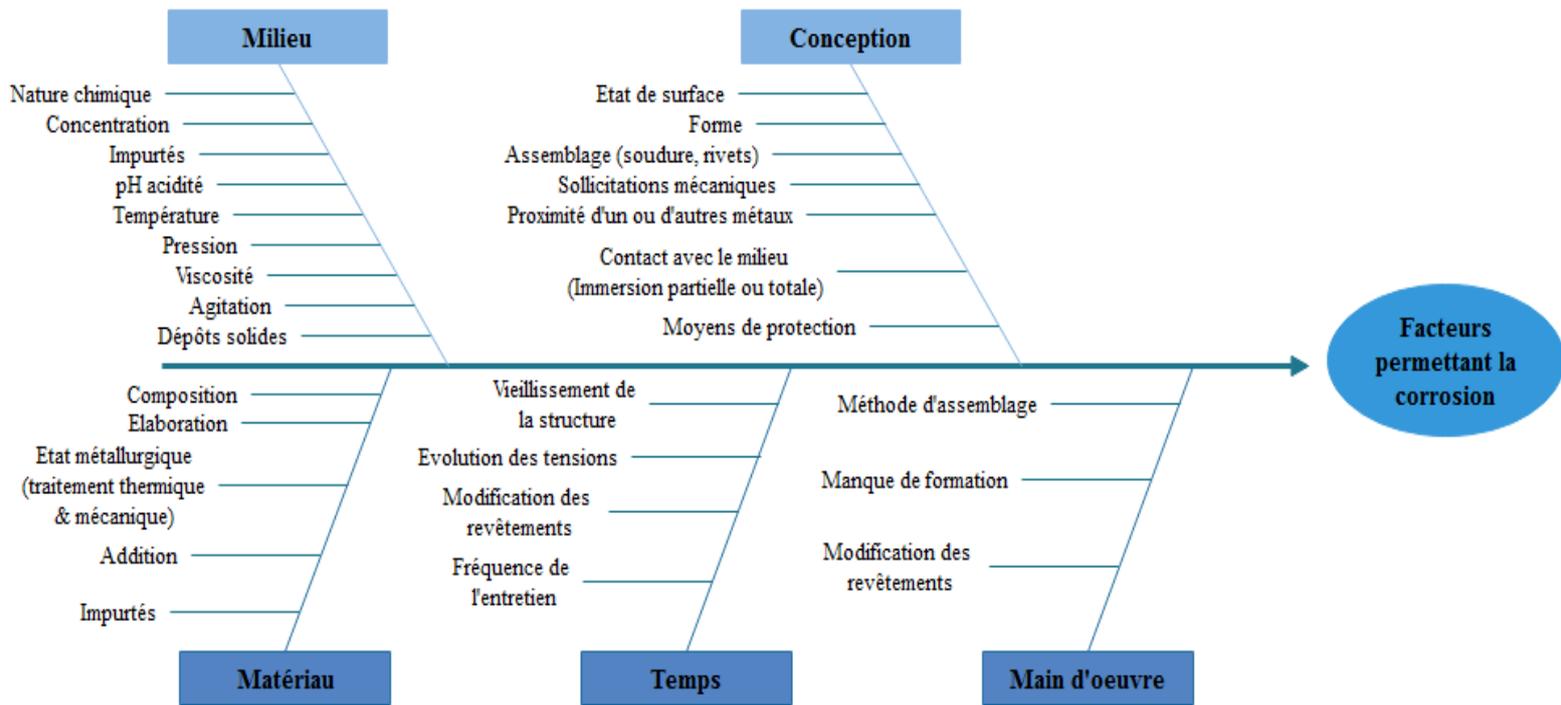
Les métaux, à l'exception des métaux précieux tels que l'or et le platine, que l'on trouve à l'état naturel sont toujours extraits de minerais ; les métaux ont donc toujours tendance à évoluer vers un état stable, qui correspond à leur état d'origine, c'est-à-dire à leur forme oxydée.

La corrosion des métaux est essentiellement de nature électrochimique, elle intervient à l'interface entre le métal et le milieu externe.

i. Principaux facteurs de corrosion :

La corrosion des aciers peut être causée par plusieurs facteurs. Pour les déterminer on va utiliser la méthode Ichikawa (5m) :

Chapitre IV



4. Différents types de la corrosion.^[6]

La figure suivante présente les différents types de corrosion causés par les différents milieux :

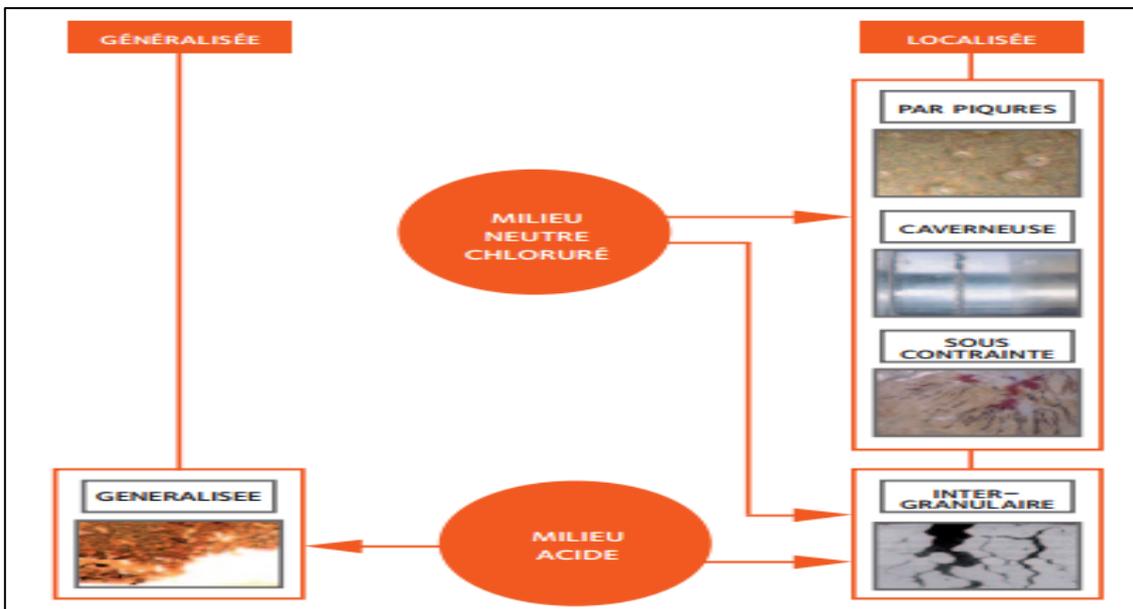


Figure 16: Les différents types de corrosion

a. Corrosion par piqûre

La corrosion par piqûre est la rupture locale du film passif de l'acier inoxydable provoquée par un électrolyte riche en chlorure et/ou sulfures. A l'endroit de la piqûre, le métal est mis à nu, la corrosion va se développer si la piqûre ne se repassive pas.

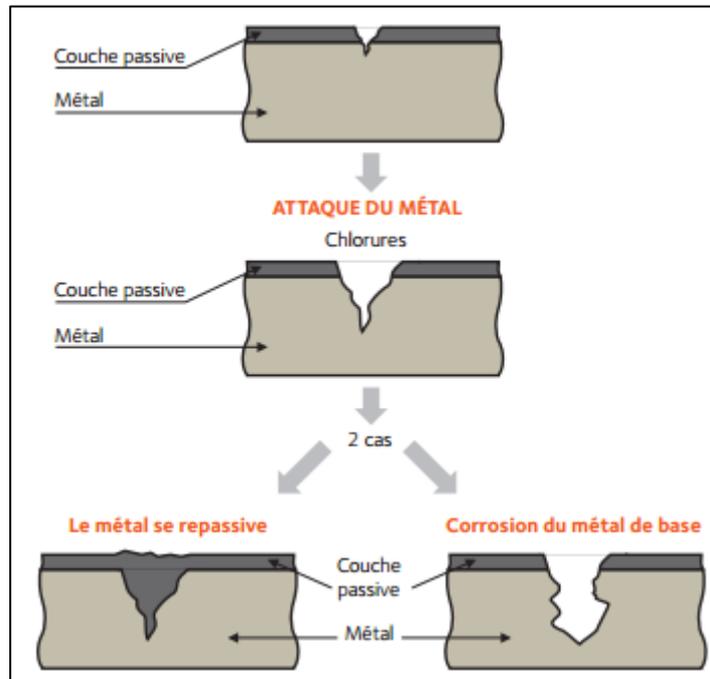


Figure 17: Corrosion par piqûre

Cette dissolution donne naissance à des ions métalliques et des électrons et donc au passage d'un courant (de dissolutions) qui est à l'origine d'une différence de potentiel (tension) entre la zone anodique (piqûre) et la zone cathodique (le reste du métal).

b. Corrosion caverneuse

Dans un électrolyte riche en chlorure une zone confinée liée par exemple à un design non optimisé, favorise l'accumulation d'ions chlorures. L'acidification progressive du milieu dans cette zone facilite la déstabilisation du film passif.

Une fois la corrosion initiée, sa propagation intervient par dissolution active du matériau dans la caverne.

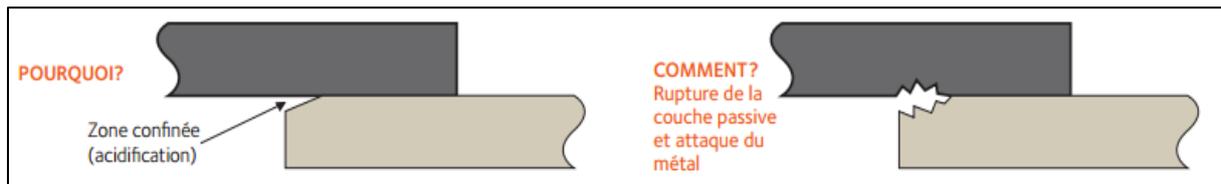


Figure 18 : Corrosion caverneuse

c. Corrosion intergranulaire

Aux températures supérieures à 1035°C, le carbone est en solution solide dans la matrice des aciers inoxydables austénitiques. Cependant, quand ces matériaux sont refroidis lentement à partir de ces températures ou bien réchauffés dans la gamme 425 à 815°C, des carbures de chrome sont précipités aux joints de grain. Ces carbures présentent une teneur en chrome élevée par rapport à la matrice. En conséquence, la zone directement adjacente aux joints de grain en est largement appauvrie. L'état de sensibilisation se manifeste dans beaucoup d'environnements par l'amorçage privilégié et la propagation rapide de la corrosion sur ces zones déchromées.

Pour les aciers inoxydables ferritiques non stabilisés, la température de sensibilisation est supérieure à 900°C.

d. Corrosion sous contrainte

On désigne par « corrosion sous contrainte » la formation de fissures qui démarrent après une période d'incubation plus ou moins longue et qui ensuite peuvent se propager très rapidement et provoquer la mise hors service des appareils par fissuration.

Ce phénomène, particulièrement dangereux, se produit par effets combinés de trois paramètres :

- La température : la corrosion sous contrainte se développant rarement en dessous de 50°C.
- Les contraintes appliquées ou résiduelles subies localement par la pièce.
- La corrosion du milieu : présence de Cl^- , H_2S ou milieux caustiques NaOH .

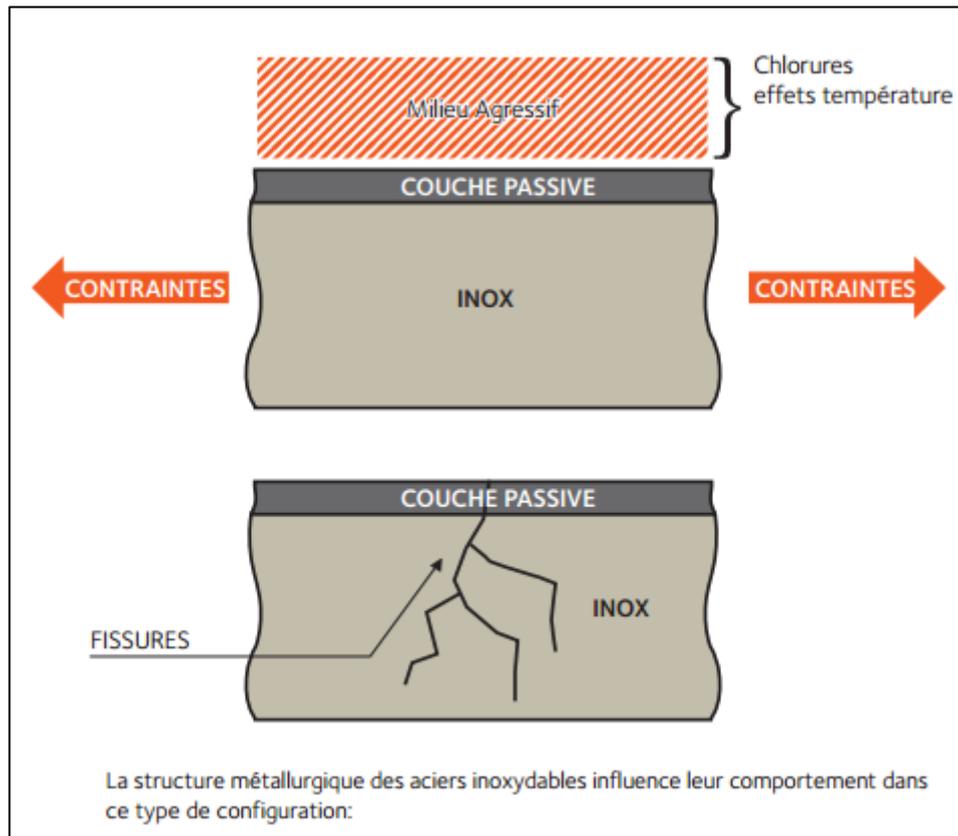


Figure 19: Corrosion sous contrainte

e. Corrosion généralisée

Cette corrosion se traduit par une dissolution de tous les points constitutifs de la surface du matériau qui sont attaqués par le milieu corrosif. Ceci se traduit à l'échelle micrographique par une diminution globalement régulière de l'épaisseur ou perte de poids (corrosion uniforme ou généralisée par opposition à la corrosion localisée).

On rencontre cette corrosion dans les milieux acides. En effet, en dessous d'une valeur de pH critique, le film passif protégeant l'acier inoxydable n'est plus stable et le matériau subit une dissolution active généralisée. Plus le milieu est acide, plus la vitesse de corrosion et la perte d'épaisseur de l'inox en résultant seront élevés.

Chapitre IV

5. Les différentes nuances d'aciers inoxydables austénitiques, leurs symboles et leur résistance à la corrosion et à la traction.^[7]

Groupe	AISI	EN Symbolique	Résistance à la corrosion	Domaine d'application	Résistance à la rupture en MPA
A1	303	X8CrNiS18-9	Faible dans milieux acides et chlorurés, bonne dans acide nitrique (jusqu'à 52% à toutes températures, 98% à froid), acides organiques dilués à froid, solutions alcalines (sauf chlorures, sulfites et sulfates), eaux douces et atmosphères naturelles, produits alimentaires (sauf moutarde et vin blanc), lubrifiants, huiles et graisses.	Transport, industrie mécanique, usinage.	500-750
A1	304	X5CrNi18-10	Bonne dans acide nitrique (jusqu'à 52% à toutes températures, 98% à froid), acides organiques dilués à froids, solutions alcalines (sauf chlorures, sulfites et sulfates), eaux douces et atmosphères naturelles, produits alimentaires (sauf moutarde et vin blanc).	Transport, industrie mécanique, usinage.	500-700
A2	304L	X2CrNi18-9	Acide nitrique (jusqu'à 52% à toutes températures, 98% à froid), acides organiques dilués à froid, solutions alcalines (sauf chlorures, sulfites et sulfates), eaux douces et atmosphères naturelles, produits alimentaires (sauf moutarde et vin blanc)	Forgeage, usinage de pièces mécaniques pour industrie chimique et alimentaire.	450-680
A4	316	X5CrNiMo17-12-2	Acides phosphoriques (toutes concentrations jusqu'à 40°C), acide sulfurique moins de 10% et plus de 80% à 20°C), mélanges sulfonitriques (jusqu'à 70°C), solutions et vapeurs sulfureuses mêmes chaudes (sauf si formation d'acide sulfurique), acides	Industrie des explosifs nitrés, industrie chimique, industrie alimentaire.	500-700

Chapitre IV

			organiques même bouillants, solutions salines (sauf chlorures), solutions alcalines (toutes concentrations au-dessous de 100°C), eaux douces et atmosphères naturelles (en particulier marines), produits organiques, alimentaires, pharmaceutiques.		
A4	316L	X2CrNiMo17-12-2	Acides phosphoriques (toutes concentrations jusqu'à 40°C), acide sulfurique moins de 10% et plus de 80% à 20°C), mélanges sulfonitriques (jusqu'à 70°C), solutions et vapeurs sulfureuses mêmes chaudes (sauf si formation d'acide sulfurique), acides organiques même bouillants, solutions salines (sauf chlorures), solutions alcalines (toutes concentrations au-dessous de 100°C), eaux douces et atmosphères naturelles (en particulier marines), produits organiques, alimentaires, pharmaceutiques.	Industrie des explosifs nitrés, industrie chimique, industrie alimentaire, industrie mécanique.	500-700
A4	316L	X2CrNiMo18-14-3	Excellente résistance dans les milieux naturels (même en présence de concentrations modérées en chlorures et acides); dans les milieux alimentaires et agroalimentaires, et dans de nombreux milieux acides et chlorurés. Résistance à la corrosion intergranulaire même après soudage.	Joaillerie, bijouterie, industrie chimique et pétrochimique.	500-700
A4	316Ti	X6CrNiMo17-12-2	Acides phosphoriques (toutes concentrations jusqu'à 40°C), acide sulfurique (moins de 10% et plus de 80% à 20°C), mélanges sulfonitriques (jusqu'à 70°C), solutions et vapeurs sulfureuses mêmes chaudes (sauf si formation d'acide sulfurique), acides organiques même bouillants, solutions salines (sauf chlorures); solutions alcalines (toutes	Industrie chimique, industrie alimentaire, industrie mécanique.	530-690

			concentrations au-dessous de 100°C), eaux douces et atmosphères naturelles (en particulier marines), produits organiques, alimentaires et pharmaceutiques.		
A4	321	X6CrNiTi18-10	Excellente résistance dans les milieux naturels (en absence de concentration importante en chlorures ou acides), dans les milieux alimentaires et agroalimentaires (sauf moutarde, vin blanc), et dans certains milieux chimiques (acide nitrique, acides organiques dilués à froid). Résistance à la corrosion intergranulaire même après soudage.	Industrie chimique, alimentaire et agroalimentaire.	530-690

Tableau 4:différentes nuances des aciers inoxydables

6. Facteurs permettant la dégradation des pompes P01 A/R.

Comme il est déjà mentionné, l'acide phosphorique 42% est préparé dans le bac R01 en mélangeant l'acide phosphorique 54% provenant de l'atelier phosphorique et le liquide de lavage utilisé pour l'épuration des gaz produits lors des différentes étapes de procédés de fabrication de l'engrais TSP.

Les pompes P01 A/R permettent l'alimentation de la cuve d'attaque par l'acide phosphorique 42%. Ces dernières sont construites par l'inox A2-70 (AISI 304L).^[7]

Selon l'étude qui était faite précédemment et selon le tableau, cet acier peut être dégradé sous l'effet de plusieurs facteurs : Présence de l'acide nitrique à une concentration supérieure à 52%, acides organiques concentrés, solutions contenant des chlorures, des sulfates et des sulfites, eaux salines et des pressions supérieures à 680 MPA.

Le liquide de lavage contient, comme il est mentionné auparavant, l'acide fluoridrique HF provenant de l'étape de la réaction ainsi de l'étape de granulation, en outre, il contient la poussière aspirée par les cyclones d'assainissement contenant des phosphates broyés, etc...

Selon l'annexe 1 et 3, l'acide phosphorique 54% ainsi que les phosphates broyés contiennent des quantités importantes des ions chlorures Cl⁻ et des teneurs en sulfates.^[4]

On peut déduire, que ces pompes peuvent être corrodées soit par intervention de la corrosion par piqûre car on a présence des ions chlorures Cl^- dans l'acide phosphoriques 54% ainsi que dans les phosphates, soit par intervention de la corrosion caverneuse à cause des ions chlorures d'une part et du design non optimisé d'autre part, soit par intervention de la corrosion par contrainte à cause des pressions créées lors du transfert de l'acide phosphorique 42% du bac R01 vers la cuve d'attaque qui vont former des fissures au niveau de ces pompes, et aussi la présence des ions chlorures dans l'acide phosphorique 54% et les phosphates.

Il ne faut pas oublier aussi que l'acide fluoridrique HF présent dans le liquide de lavage joue un rôle important lors de la dégradation de ces pompes.

➡ **D'après ceci, on peut tirer que les ions chlorures ainsi que les sulfates présents dans l'acide phosphoriques 54% et les phosphates broyés, les pressions créées lors du transfert de l'acide phosphorique 42% vers la cuve d'attaque ainsi que l'acide fluoridrique sont à l'origine de la détérioration des pompes P01 A/R.**

III. Elaboration des plans d'action.

1. Actions techniques pour remédier aux problèmes concernant la dégradation des pompes P01 A/R.

a. Eviter la corrosion par piqûre.

Afin d'éviter la corrosion par piqûre :

- ✓ On cherchera si c'est possible de diminuer la corrosivité du milieu en baissant la température, diminuant la concentration en halogénures et la présence d'oxydants.
- ✓ Choisir une nuance à teneur en chrome élevée ou contenant du molybdène.
- ✓ Utiliser un acier austénitique de type A4 (AISI 316L) grâce à sa résistance lorsqu'on a présence de concentrations modérées en chlorures et acides.
- ✓ Diminuer la concentration en chlorure Cl^- en ajoutant un agent précipitant.

b. Eviter la corrosion caverneuse.

Afin d'éviter ce type de corrosion, il faut :

- ✓ Optimiser la conception de l'équipement de façon à éviter toute caverne artificielle. Cette caverne peut être créée par un joint mal fixé, une soudure non abrasée ou mauvaise, des dépôts, des interstices entre deux tôles, etc...

Chapitre IV

- ✓ Utiliser une nuance appropriée, acier inoxydable austénitique de type A4 (AISI 316L) ou duplex allié en nickel et/ou molybdène.

c. Eviter la corrosion sous contrainte.

Afin d'éviter ce type de corrosion il est recommandé de :

- ✓ Supprimer ou mieux répartir les contraintes soit en optimisant le design, soit par traitement de dimensionnement après mise en forme et soudage des pièces concernées.
- ✓ Baisser la température si possible.
- ✓ Si non réalisable, il faudra choisir la nuance la plus adaptée en privilégiant les solutions ferritiques ou duplex mais en tenant compte aussi des autres problématiques de corrosion rencontrées.

d. Diminuer le taux des sulfates contenue dans l'acide phosphorique 42%.

Afin de diminuer le taux des sulfates, on ajoute des quantités de phosphates broyés à l'acide phosphorique car grâce à sa teneur en chaux CaO, les sulfates vont réagir avec les ions Ca²⁺ en donnant un précipité (gypse CaSO₄).

e. Diminuer la concentration en acide fluoridrique HF en ajoutant la silice SiO₂.

L'acide fluoridrique HF réagit avec la silice SiO₂ selon la réaction suivante :



Alors suite à cette réaction, on peut diminuer la concentration en acide fluoridrique HF dans le liquide de lavage donc diminuer un peu la vitesse de dégradation des pompes P01 A/R.

2. Actions techniques afin de remédier aux problèmes de dégradation du circuit de l'acide phosphorique 42%.

Afin d'éviter les fuites constatées dans le circuit d'acide phosphorique 42%, il est recommandé de changer le matériau SVR soit par :

a. Le polyéthylène.

Ce matériau a des propriétés mécaniques garantissant la robustesse et l'inaltérabilité.

En point de vue chimique, le polyéthylène est garanti atoxique, avec une fiabilité maximum face aux problèmes de corrosion et d'oxydation.

Ses propriétés mécaniques permettent de le manipuler ou façonner aisément : perçage, ajout de pièces métalliques, raccords, personnalisations, etc...

Concernant la sécurité, les produits en polyéthylène sont faciles à manipuler et réduisent les risques sur les chantiers grâce à leur légèreté et leur résistance.

Il est abondamment disponible et 100% recyclable.

b. La résine fluorée.

D'une manière générale, la présence du fluor dans la composition améliore l'isolation thermique et la résistance chimique, retarde ou inhibe la propagation des flammes (résistance au feu), abaisse la tension superficielle critique, diminue le coefficient de frottement, et exalte les caractéristiques diélectriques. En effet, les polymères fluorés sont des matériaux à haute valeur ajoutée, et présentent des propriétés remarquables qui leur valent d'être impliqués dans de nombreux secteurs des technologies de pointes.

Ce matériau a plusieurs caractéristiques parmi lesquelles on cite :

- ✓ Température d'utilisation varient de -220°C à +260°C.
- ✓ Isolation électrique.
- ✓ Isolation thermique.
- ✓ Résistance à l'attaque chimique.
- ✓ Résistance au feu.
- ✓ Abaissement du coefficient de frottement.
- ✓ Alimentarité.
- ✓ Antiadhérence.

Conclusion

Face à une concurrence incessante et dans le souci de fournir les éléments essentiels à la fertilité des sols et à la croissance des rendements agricoles, le groupe OCP met l'innovation au cœur du développement des engrais adaptés et performants en prenant en considération le côté environnemental.

Dans ce but, on trouve que l'office chérifien des phosphates veille à respecter d'une manière rigoureuse toutes les normes exigées afin de protéger l'environnement.

Le présent travail s'inscrit dans le cadre de l'amélioration continue des installations de production en général et celles de la dépollution des gaz en particulier. L'intérêt porté à ces systèmes vient de la dualité de leur importance qui touche à la fois la préservation de l'environnement et les rendements des processus de production.

En effet, afin d'améliorer les rendements des installations de la section de lavage, de la ligne de production d'engrais TSP, on nous a demandé de faire une étude concernant l'usure prématurée des équipements propres à cette section.

Pour effectuer cette étude, on s'est basé sur plusieurs outils, parmi lesquels on cite : Identification des types des arrêts de la section de lavage de la ligne 307 de la production TSP et analyse des données, détermination des causes racines des problèmes liés à ces équipements.

Finalement, cette étude nous a ramené à détecter les anomalies et ensuite proposer des actions correctives permettant de remédier aux problèmes constatés.

Références

- [1] Operating Manual Unit 307.
- [2] Thèse UTC 2015 « Anthony Foulon » : Détermination de la signature acoustique de la corrosion des composites SVR (stratifié verre résine).
- [3] Norme ISO 3506-1.
- [4] Caractéristiques chimiques et éléments à l'état de trace des produits MAP, TSP, ACP 54% et phosphates (analyses 2017, 2018, 2019).
- [5] Archive de l'atelier engrais JFC V (ligne 307) « suivi MTBF 2018/2019 ».
- [6] Stainless Europe « ArcelorMittal » : l'acier inoxydable et la corrosion.
- [7] Inter Inox « Manuel technique ».
- [8] Indigo «Acier Inox 304 – 304L – 316 – 316L».

Annexe 1

Semaines	% Al ₂ O ₃	%CaO	ppm Cd	Cl ⁻ ppm	Densité	F ⁻ %	% Fe ₂ O ₃	H ₂ SO ₄ g/l	% K ₂ O	% MgO	%Na ₂ O	% P ₂ O ₅	%SiO ₂	%SO ₄	% TS
04/10/2018	0,29	0,15	30,00	189,00	1640		0,47	58,80	0,12	1,45	0,14	51,79	0,08	3,52	0,76
12/10/2018	0,26	0,12	28,00	79,00	1646		0,44	53,90	0,09	1,42	0,09	52,90	0,06	3,96	0,57
19/10/2018	0,29	0,04	25,00	69,00	1650		0,48	78,40	0,11	1,52	0,10	52,56	0,04	3,74	0,56
22/10/2018	0,23	0,36	20,00	58,00	1654		0,42	63,70	0,09	1,36	0,11	53,83	0,03	3,61	0,35
07/11/2018	0,28	0,03	21,00	98,00	1633	0,50	0,45	65,17	0,11	1,50	0,10	50,95	0,05	0,49	0,53
13/11/2018	0,24	0,15	19,00	59,00	1645	0,65	0,42	58,80	0,10	1,48	0,09	51,88	0,03	3,57	0,27
19/11/2018	0,25	0,02	19,00	76,00	1657	0,55	0,45	70,07	0,10	1,69	0,09	50,24	0,06	4,08	0,23
26/11/2018	0,24	0,02	20,00	68,00	1654	1,41	0,44	71,54	0,10	1,58	0,15	52,03	1,40	4,20	0,22
03/12/2018	0,20	0,05	21,00	125,00	1661	0,37	0,43	72,52	0,09	1,47	0,19	52,95	0,05	4,25	0,42
17/12/2018	0,29	0,11	20,00	71,00	1644	0,55	0,48	60,27	0,09	1,51	0,11	53,08	0,05		1,23
25/12/2018	0,28	0,13	23,00	81,00	1660	0,58	0,53	60,27	0,11	1,61	0,11	53,47	0,04		0,55
07/01/2019	0,41	0,18	35,00	113,00	1678	0,59	0,52	60,76	0,11	1,82	0,13	53,30	0,05		0,62
15/01/2019	0,35	0,12	31,00	122,00	1672	0,65	0,48	50,47	0,10	1,62	0,11	52,46	0,04		0,43
29/01/2019	0,34	0,28	27,00	525,00	1669	0,58	0,46	67,62	0,11	1,60	0,17	51,77	0,10	4,15	2,51
05/02/2019	0,45	0,28	31,00	53,00	1661	0,19	0,59	70,70	0,15	2,09	0,17	52,28	0,14		1,31
11/02/2019	0,72	0,64	36,00	39,00	1656	0,07	1,00	61,25	0,25	3,14	0,40	53,70	0,07		1,19
18/02/2019	0,23	0,47	30,00	45,00	1660	0,25	0,42	55,86	0,09	1,47	0,18	52,31	0,08		1,90
25/02/2019	0,23	0,04	30,00	76,00	1650	0,1	0,45	71,05	0,10	0,15	0,11	52,69	0,04		1,02
11/03/2019	0,25	0,06	23,00	19,00	1656	0,1	0,44	49,68	0,09	1,42	0,09	53,09	0,04		0,35
18/03/2019	0,32	0,02	24,00	158,00	1646	0,11	0,46	54,88	0,10	1,55	0,05	53,15	0,05		0,41
25/03/2019	0,26	0,12	23,00	192,00	1578	0,15	0,42	52,92	0,09	1,40	0,04	47,88	0,09	3,10	0,42

Annexe 2

Groupe de composition	Nuance d'acier	Composition chimique & fraction massique (%)									Notes de bas de tableau
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	
Austénitique	A1	0,12	1	6,5	0,2	0,15 à 0,35	16 à 19	0,7	5 à 10	1,75 à 2,25	b) c) d)
	A2	0,1	1	2	0,05	0,03	15 à 20	e)	8 à 19	4	f) g)
	A3	0,08	1	2	0,045	0,03	17 à 19	e)	9 à 12	1	h)
	A4	0,08	1	2	0,045	0,03	16 à 18,5	2 à 3	10 à 15	4	g) i)
	A5	0,08	1	2	0,045	0,03	16 à 18,5	2 à 3	10,5 à 14	1	h) i)

Norme ISO 3506-1^[3]

- a) Sauf indication contraire, les valeurs sont maximales.
- b) Le soufre ne peut être remplacé par le sélénium.
- c) Si Ni < 8%, le Mn minimum doit être 5%.
- d) Pas de limite minimale pour la teneur en Cu pourvu que la teneur en Ni soit > 8%.
- e) Le fabricant peut choisir d'inclure du molybdène. Toutefois, si certaines applications exigent une limitation de la teneur en molybdène, cette exigence doit être stipulée par le client à la commande.
- f) Si la teneur en Cr < 17%, il convient que la teneur minimale en nickel soit de 12%.
- g) Pour les aciers inoxydables austénitiques à la teneur maximale en C de 0,03%, la teneur en azote est limitée à 0,22%.
- h) Doit contenir du titane $\geq 5 \times C$ jusqu'à 0,8% maximum pour stabilisation et être marqué de manière appropriée conformément à ce tableau ou doit contenir du niobium (colombium) et/ou du tantale $\geq 10 \times C$ jusqu'à 1% maximum pour stabilisation et être marqué de manière appropriée conformément à ce tableau.

- i) Le fabricant peut choisir d'augmenter la teneur en carbone lorsque l'obtention des caractéristiques mécaniques pour des diamètres supérieurs l'exige, mais ne doit pas dépasser 0,12% pour les aciers austénitiques.**

Annexe 3

CARACTERISATIONS CHIMIQUES Du Phosphate (2016-2017) **ELEMENTS MAJEURS**

MOIS	%SiO2 TOT	% P2O5	%CaO	% MgO	% Fe2O3	% Al2O3	% Na2O	% K2O	% F-
août-16	2,07	31,16	NR	0,45	0,19	0,35	0,60	0,06	NR
sept-16	2,93	31,67	51,85	0,48	0,23	0,42	0,64	0,05	3,02
oct-16	2,16	31,78	51,46	0,42	0,19	0,41	0,76	0,05	3,65
nov-16	3,36	31,53	51,47	0,65	0,20	0,45	0,85	0,07	3,43
déc-16	3,29	30,68	50,60	0,50	0,25	0,60	0,90	0,07	3,29
janv-17	3,31	31,91	51,98	0,60	0,23	0,50	0,90	0,08	3,39
févr-17	2,75	30,14	50,22	0,75	0,20	0,35	0,85	0,05	3,38
mars-17	3,10	30,38	50,24	0,50	0,25	0,55	0,95	0,07	3,70
avr-17	4,58	30,85	50,80	0,50	0,30	0,65	0,94	0,09	3,64
mai-17	3,77	29,94	50,04	0,48	0,18	0,32	0,95	0,04	3,40
juin-17	3,74	31,10	51,03	0,35	0,20	0,45	0,99	0,05	3,50
juil-17	2,79	30,73	50,63	0,50	0,20	0,40	0,65	0,05	3,42
août-17	2,77	30,76	50,73	0,45	0,20	0,40	0,85	0,05	3,73
janv-19		30,83	51,00	0,60	0,25	0,50	0,90	0,07	4,12
févr-19		30,39		0,50	0,15	0,35	0,89	0,05	3,36

CARACTERISATIONS CHIMIQUES Du Phosphate (2016-2017)

ELEMENTS A L'ETAT DE TRACE

ppm Co	ppm TOC	Pb ppm	Cd ppm	Cl ⁻ ppm	Cr ppm	Cu ppm	Ni ppm	Sr ppm	Ba ppm	V ppm	Zn ppm	Ti ppm	Mn ppm	Mo ppm	As ppm
0,00	1541,00	0,47	0,00	415,34	0,00	0,92	0,00	74,92	4,94	20,35	77,00	25,12	1,20	3,40	9,49
7,55	2540,00	2,25	0,10	328,00	70,48	41,48	8,65	378,39	43,69	61,48	105,00	58,48	8,75	34,09	10,79
11,60	2743,00	2,25	16,00	374,16	132,00	41,35	15,35	765,00	91,50	122,00	196,00		1,11	43,40	
4,29	2381,00	<2,00	23,00	645,18	84,00	33,96	50,37	648,31	74,80	123,00	160,00	173,00	17,06	34,86	12,30
1,11	1845,00	<2,00	21,00	358,82	234,00	15,60	10,90	27,30	13,10	110,00	188,00	114,00	15,00	11,50	17,80
1,12	2615,00	<2,00	21,00	761,66	72,00	29,68	11,15	495,45	65,89	109,00	116,00	114,00	9,81	27,10	12,20
32,40	1780,00	<2,00	37,00	322,00	191,00	50,96	37,50	771,77	111,84	251,00	4,45	259,00	35,27	60,36	13,25
10,50	19,44	<2,00	22,00	323,00	144,00	28,80	11,10	447,00	67,00	133,00	161,00	109,00	2,18	32,70	10,75
15,05	2590,00	<2,00	29,00	432,00	163,00	51,00	31,10	565,00	109,00	172,00	277,00	229,00	19,50	505,00	14,50
18,00	2490,00	<2,00	16,00	544,87	208,00	57,50	34,60	780,00	106,50	148,00	276,00	206,00	22,25	59,00	11,50
15,20	2535,00	<2,00	25,00	449,50	185,00	49,90	19,65	784,98	105,00	139,00	233,00	172,00	16,10	50,50	10,67
19,25	2056,00	<2,00	23,00	341,00	163,00	39,69	16,05	794,83	101,98	126,00	143,00	178,00	12,80	38,34	10,18
12,52	2411,00	<2,00	26,00	714,26	168,00	59,62	34,38	85,95	13,12	157,00	244,00	252,00	18,98	44,77	10,09
6,67	3485,00	<2,00	13,00	335,50	107,00	62,00	17,00	488,56	43,00	151,00	176,00	62,00	22,00	67,65	11,02
5,46		<1,00	22,00	3,97,5	61,00	32,00	30,00	9,44	40,00	118,00	29,00	24,00	12,00		11,00

