



Licence Sciences et Techniques (LST)

GENIE CHIMIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

Analyses et résolution du phénomène d'encrassement des échangeurs lié au comportement du fluor issu de la production de FSA au niveau ODI-OCP

Présenté par :

◆ ZRHIDI Nihad

Encadré par :

◆ Mr MAKAN

◆ Pr BENTAMA

Soutenu Le 09 Juin 2017 devant le jury composé de:

- Pr A. BENTAMA

- Pr A. BOULAHNA

- Pr B. A. KANDRI RODI

Stage effectué à OCP JORF LASFAR

Année Universitaire 2016 / 2017

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES FES – SAISS

☒ B.P. 2202 – Route d'Imouzer – FES

☒ Ligne Directe : 212 (0)5 35 61 16 86 – Standard : 212 (0)5 35 60 82 14

Site web : <http://www.fst-usmba.ac.ma>

Dédicace :

Que ce travail témoigne de mon respect :

A mes parents pour leurs tendres encouragements et leurs grands sacrifices, ils ont pu créer le climat affectueux et propice à la poursuite de mes études. Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mon profond sentiment envers eux. Je pris le bon Dieu de les bénir, de veiller sur eux, en espérant qu'ils seront toujours fiers de moi.

A mes sœurs et mes frères ; A la famille ZRHDIDI. Qu'ils trouvent ici l'expression de mes sentiments de respect et de reconnaissance pour le soutien qu'ils n'ont cessé de me porter.

A tous mes professeurs, Leur générosité et leur soutien m'oblige de leur témoigner mon profond respect et ma loyale considération.

A tous mes amis et mes camarades qu'ils trouvent ici l'expression de ma grande amitié.

Remerciements :

Avant de commencer à rédiger mon rapport, je tiens à adresser mes sincères remerciements aux personnes qui m'ont permis de mener à bien mon travail par leurs sincères collaborations.

Je tiens à remercier Monsieur le Directeur GTATI Mohamed pour sa confiance et son accueil bienveillant et Mr. MAKAN mon encadrant dans la société pour ses conseils avisés et cela malgré son emploi du temps chargé.

J'exprime mes sincères remerciements à Mr. HADDOU Jamal pour ses conseils précieux, son soutien, son suivi et son intérêt à réussir mon projet.

Je Tiens à remercier tout le personnel de l'OCP pour leur aide et soutien.

Je remercie chaleureusement mon encadrant monsieur BENTAMA pour l'aide et les conseils concernant les missions évoquées dans ce rapport, et la confiance qu'il m'a témoigné.

Enfin je ne manque sûrement pas de remercier le directeur et tous les professeurs de la filière Génie Chimique qui mon avoir incités à travailler en mettant à ma disposition leurs expériences et leurs compétences.

Avant-propos:

Pour que la formation soit très efficace, la direction de la Faculté des Sciences et Techniques, insiste sur la pratique d'un stage qui est un champ d'application pour découvrir le domaine du travail.

Le stage vient donc après une information théorique pour mieux conforter celle-ci à la pratique.

Dans la période du stage, le stagiaire améliore ses connaissances tout en démontrant ses pouvoirs intellectuels enrichis et son savoir-faire.

Le stage est une bonne opportunité et un moyen qui permet d'approfondir nos connaissances, ainsi à aboutir à une formation complète. En plus il oblige socialement les stagiaires à contacter les gens, d'avoir des relations solides afin de s'intégrer plus facilement dans le domaine du travail.

En fin les stagiaires se trouvent ainsi tenus d'établir un rapport dans lequel ils doivent mentionner un aperçu général sur la société d'accueil et les travaux effectués durant cette période de stage.

Table des matières

Introduction :	1
Chapitre 1 : Présentation générale	2
I. Généralités sur le groupe :	3
1. Présentation du groupe OCP :.....	3
2. Historique :	4
3. Fiche Technique du groupe OCP	5
4. Missions :.....	5
5. Activités du groupe OCP :	6
6. Organigramme du groupe chérifien des phosphates	7
II. Présentation de pôle chimie JORF LASFAR :	8
1. Le site de JORF LASFAR comprend les entités suivantes :	8
Chapitre 2 : Principe de fabrication d'acide phosphorique :	10
I. Présentation du projet ODI :	11
II. Description du procédé d'acide phosphorique de l'ODI :	12
1. Description :.....	12
2. Epaissement	13
3. Réaction :.....	14
4. Filtration :	17
5. Stockage acide 28% :	19
6. Concentration d'acide 54% :.....	20
7. Production de l'acide Fluosilicique :.....	21
8. Stockage d'acide 54% :	21
Chapitre 3 : Partie Expérimentale	22
I. Bilan Fluor de l'atelier de production d'acide phosphorique :	23
II. Diagnostique du phénomène de dépôt du CaF_2 :	27
III. Généralités sur le phénomène de l'encrassement :	29
1. Introduction :	29
2. Les problèmes que cause l'encrassement :.....	29
IV. Proposition des actions d'amélioration pour réduire les dépôts :	30
Conclusion :	32
Annexe :	33

Liste des tableaux

FIGURE 1: ORGANIGRAMME DU GROUPE CHERIFIEN DES PHOSPHATES.....	7
FIGURE 2:EMPLACEMENT STRATEGIQUE DU COMPLEXE INDUSTRIEL	8
FIGURE 5: PLAN GLOBAL DE L'IMPLANTATION DE L'ODI	11
FIGURE 6: SCHEMA GLOBALE DE L'ATELIER PHOSPHORIQUE.....	12
FIGURE 7: EPAISSISSEUR.....	14
FIGURE 8:IMAGE D'UNE PARTIE DE LA CUVE D'ATTAQUE	15
FIGURE 9: CUVE D'ATTAQUE.....	16
FIGURE 10: CIRCUIT DE LA REACTION	17
FIGURE 11: FILTRATION	19
FIGURE 12: SCHEMA DU PROCESS CONDENSAT	27
FIGURE 13: DEPOT DE LA MATIERE ENCRASSANTE.....	30

Introduction :

Le Maroc est le premier exportateur mondial du phosphate et le troisième producteur après les États-Unis et la Russie. Il produit près de 30 millions de tonnes de phosphate par année et 30 % des recettes d'exportation du pays sont directement reliées à ce secteur industriel. De plus, le sous-sol du Maroc renferme les trois quarts des réserves mondiales de phosphate connues. Cette industrie est donc très importante pour l'économie du pays et tous les procédés de traitement du phosphore sont effectués au sud de la région de Casablanca.

Le développement de l'industrie des engrais phosphatés conduit à produire de plus en plus d'acide phosphorique en traitant les phosphates naturels par l'acide sulfurique. C'est le procédé utilisé à l'échelle internationale pour la valorisation des phosphates dans la fabrication d'acide phosphorique.

Le procédé de fabrication d'acide phosphorique de l'ODI1 a la particularité de produire également de l'acide Fluosilicique. Durant l'exploitation de ce procédé; du CaF_2 se dépose sur les échangeurs à plaque qui servent à refroidir l'eau de procédé.

Dans le cadre de l'amélioration continue de ce procédé, je vais :

- Faire un bilan Fluor de l'atelier de production d'acide phosphorique ;
- Diagnostiquer le phénomène de dépôt du CaF_2 ;
- Proposer des actions d'amélioration pour réduire ces dépôts.

Chapitre 1 : Présentation générale

Ce chapitre donne un aperçu sur :

- Le groupe OCP
- Le pôle chimique JORF LASFAR

I. Généralités sur le groupe :

Le Maroc est l'un des pays qui dispose d'une grande et importante réserve en minéraux du phosphate, ceci représente les trois quarts des mondiales. Pour profiter de ces ressources le Groupe OCP (office chérifien des phosphate) était créé au début pour l'extraction et l'exportation du phosphate, et après pour le valoriser et augmenter son cout du revient on a pensé à son exploitation et son traitement avant de l'exporter.

1. Présentation du groupe OCP :

Le Maroc possède les réserves les plus importantes de phosphate dans le monde, elles sont de l'ordre de 51.8 Milliards de Tonnes de Minerai, ce qui représente 75% des réserves mondiales. Pour profiter de ces ressources le groupe OCP (Office Chérifien des Phosphates) était créé, le groupe est spécialisé dans l'extraction, la valorisation, et la commercialisation de Phosphate et de ses dérivées. Chaque année, plus de 23 millions de tonnes de minerais sont extraits du sous-sol marocain qui recèle les trois-quarts des réserves mondiales.

Principalement utilisé dans la fabrication des engrais, le phosphate provient des sites de Khouribga, BENGUERIR, Youssoufia et BOUCRAA-LAAYOUNE. Selon les cas, le minerai subit une ou plusieurs opérations de traitement (criblage, séchage, calcination, flottation, enrichissement à sec...). Une fois traité il est exporté tel quel ou livré aux industries chimiques du Groupe, à JORF LASFAR ou à Safi, pour être transformé en produits commercialisables : acide phosphorique de base, acide phosphorique purifié, engrais solides.

Premier exportateur mondial de phosphate sous toutes ses formes, le groupe OCP écoule 95% de sa production en dehors des frontières nationales. Opérateur international, il rayonne sur cinq continents de la planète et réalise un chiffre d'affaires annuel de 1.3 milliards de dollars.

Moteur de l'économie nationale, le Groupe OCP joue pleinement son rôle d'entreprise citoyenne. Cette volonté se traduit par la promotion de nombreuses initiatives, notamment en faveur du développement régional et de la création d'entreprise.

Dans un contexte de concurrence accrue, le Groupe OCP poursuit la politique de consolidation de ses positions traditionnelles et développe de nouveaux embouchés. Avec une exigence sans cesse réaffirmée : améliorer la qualité de ses produits tout en maintenant un niveau élevé en matière de sécurité et de protection de l'environnement.

2. Historique :

L'office chérifien des phosphates a été créé le 7 août 1920, mais le groupe OCP n'a vu le jour qu'en 1975. C'est un établissement semi-public à caractère industriel, doté d'une structure bien organisée lui permettant d'agir avec dynamisme et souplesse. 80 années déjà se sont écoulées depuis sa création, années jalonnées par des réalisations et des développements :

1920 : Début de l'extraction du phosphate à BOUJNIBA dans la zone de KHOURIBGA (1er mars 1921) Première exportation (23 juillet 1921).

1930 : Ouverture d'un nouveau centre de production de phosphate : le centre de Youssoufia, connu alors sous le nom de Louis Gentil (1931).

1950 : Mise en œuvre de la méthode d'extraction en découverte à Khouribga (1952)

- Création d'un centre de formation professionnelle à Khouribga (1958), en renforcement des efforts menés, depuis des décennies sur ce plan ; puis, création par la suite d'autres unités de formation /perfectionnement.

1960 : Développement de la mécanisation du souterrain à Youssoufia

- Démarrage de Maroc chimie à SAFI, pour la fabrication des dérivés phosphatés acide phosphorique et engrais (1965).

1970 : Création du groupe OCP, structure organisationnelle intégrant l'OCP et ses entreprises filiales (1975).

- Intégration d'un nouveau centre minier en découverte, le centre de PHOSBOUCRAA (1976)

- Démarrage de nouvelles unités de valorisation à SAFI : Maroc chimie II et Maroc Phosphore I (1976), puis Maroc Phosphore II en 1981.

- Ouverture d'un troisième centre de production en découverte, le centre de Ben Guérir (1979).

1980 :

- Partenariat industriel en Belgique : PRAYON (1981).

- Démarrage d'un nouveau site de valorisation de phosphate : le site de JORF LASFAR, avec Maroc phosphore III-IV (1986).

1990 :

- Exploration de nouveaux projets de partenariats industriels et de renforcement de capacités.

- Accélération du programme social de cession de logements au personnel (1993).

- Partenariats industriels avec Grande Paroisse (1997), usine EMAPHOS pour l'acide phosphorique purifié (Maroc / Belgique /Allemagne) en 1998, usine IMACID pour acide phosphorique (Maroc /Inde) en 1999.

2000 :

- Démarrage d'une unité de flottation de phosphates à Khouribga.

3. Fiche Technique du groupe OCP

Numéro du registre de commerce	Casablanca 40.327
Date de création	07/08/1920
Mise en place de la structure du groupe	Juillet 1975
Siège social	Angle route d'El Jadida et BD de la grande ceinture, B.P 5196 : MAARIF- Casablanca
Président Directeur Général	Mr. Mostafa TERRAB
Effectif	22.677, dont 725 ingénieurs
Chiffre d'affaire	12 milliards de dirhams en 2010
Objectif	Extraction, traitement, transformation et commercialisation des phosphates et des produits
Sites de production des dérivés de phosphates	Khouribga, BENGUERIR, Safi, JORF LASFAR, Youssoufia, BOUCRAA
Réserves de phosphates	$\frac{3}{4}$ des réserves mondiales

4. Missions :

La mission principale de l'OCP est de gérer les réserves du pays en matière de phosphate selon des étapes et des opérations bien précises :

***L'extraction** : Cette opération qui se fait soit en découverte soit en galeries souterraines, consiste à extraire le phosphate de la terre et s'exécute en quatre phases : forage, sautage, décapage, et défrisage.

***Le traitement** : C'est une opération nécessaire qui se fait après l'extraction et qui a pour but l'enrichissement du minerai en améliorant sa teneur.

***Le transport** : Une fois le phosphate extrait et traité, il est transporté vers les ports de Casablanca, Safi, LAAYOUNE et El Jadida..., pour être envoyé vers différents pays importateurs.

***La vente** : Le phosphate est vendu, selon les demandes des clients, soit brut, soit après traitement et transformation en engrais, acide phosphorique ou acide sulfurique aux industries chimiques.

5. Activités du groupe OCP :

Le sous-sol marocain renferme les plus importants gisements de la planète : trois quarts des réserves mondiales, 98% dans centre du pays et de 2% dans le sud.

Leur situation géographique et la diversité de leurs qualités marchandes confèrent naturellement au royaume du Maroc une place particulière dans le commerce international du phosphate.

Créé en 1920, le Groupe Office Chérifien des Phosphates joue un rôle important sur le plan économique et social du pays. Il détient le monopole de la recherche, de l'exploitation, de la valorisation et de la commercialisation du phosphate et de ses dérivés.

Vu l'effectif du personnel qu'il emploie (28.000 agents environ, dont 710 ingénieurs est assimilés), les retombées économiques de ses investissements sur l'environnement social sont importantes.

Le phosphate brut est extrait des mines souterraines et des chantiers à ciel ouvert (Découvertes). Le minerai est ensuite épierré et criblé et parfois lavé, avant d'être séché pour la transformation.

Le Groupe est présent dans cinq zones géographiques du pays :

➤ **Trois sites d'exploitation minière :**

- Khouribga
- Ben guérir / Youssoufia
- BOUCRAA/ LAAYOUN

➤ **Deux sites de transformation chimique :**

- Safi
- JORF LASFAR

Le minerai est exploité tel quel ou livré aux industries chimiques du Groupe à JORF LASFAR ou à SAFI pour être transformé en produits dérivés commercialisables : Acide phosphorique de base, Acide phosphorique purifié et les Engrais solides.

➤ **Quatre ports desservant les centres de production :**

- Casablanca : pour le phosphate brut en provenance de Khouribga
- JORF LASFAR : pour le phosphate en provenance de Khouribga et les produits dérivés fabriqués à JORF LASFAR
- Safi : pour le phosphate en provenance de Youssoufia et les produits dérivés fabriqués à Safi
- LAAYOUN : pour le phosphate en provenance de BOUCRAA.

La multiplicité des ports d'embarquement apporte une souplesse et une sécurité d'approvisionnement pour les clients. Elle constitue un atout supplémentaire pour la satisfaction de leurs besoins.

6. Organigramme du groupe chérifien des phosphates

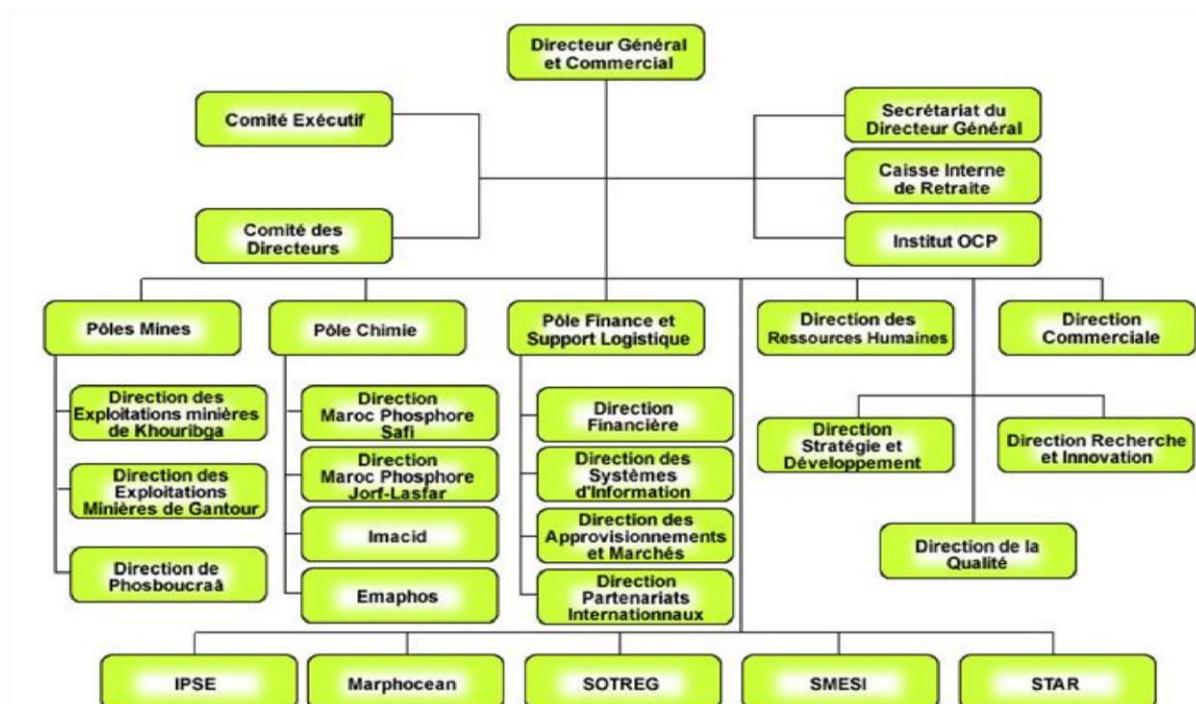


Figure 1: organigramme du groupe chérifien des phosphates.

II. Présentation de pôle chimie JORF LASFAR :

Le complexe des industries chimiques de JORF LASFAR a été mis en exploitation en 1986. Il est situé à 24 Km au sud de la ville d'El Jadida avec une superficie globale de 1 835 ha dont environ 80% non encore occupés. Le site a l'avantage de la proximité de l'un des plus importants ports du Royaume. Le site de JORF LASFAR regroupe les industries Chimiques de valorisation de minerais de phosphates et de production des engrais phosphatés et /ou azotés.

Les produits commercialisés par le site sont :

- ✚ L'acide phosphorique ordinaire qualité engrais ;
- ✚ L'acide phosphorique purifié qualité alimentaire ;
- ✚ Les engrais.

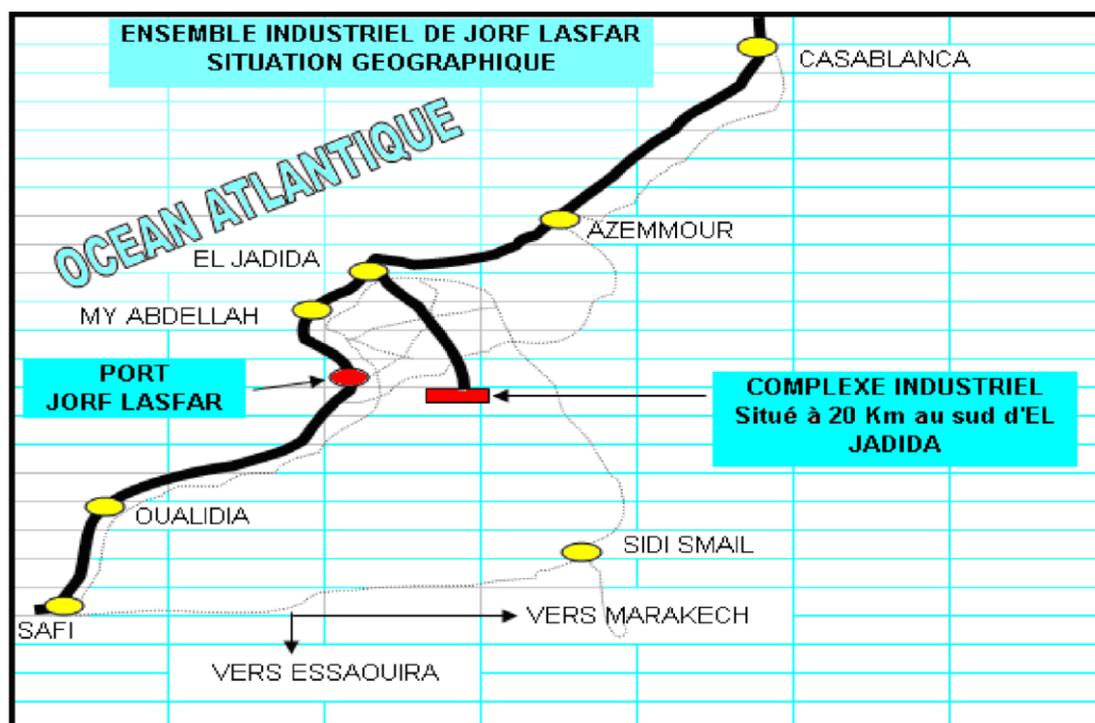


Figure 2: Emplacement stratégique du complexe industriel

1. Le site de JORF LASFAR comprend les entités suivantes :

***MARC PHOSPHORE** : Il contient quatre unités de production :

- ◆ unité de production d'acide sulfurique :

Cet acide est extrait du soufre solide, L'OCP l'importe de l'étranger. Le stockage se fait au port dans un hangar, ensuite il le transforme en état liquide, puis à l'acide sulfurique qui rentre dans la production de l'engrais.

- ◆ Unité de production de l'énergie électrique :

L'OCP à JORF LASFAR produit l'énergie électrique qui consomme en profitant de l'énergie thermique extraite de soufre, ainsi qu'il vend de l'électricité à l'ONE grâce à trois groupe de turboalternateurs d'une puissance de 37,6 MVA pour chacun.

- ◆ Unité de production d'acide phosphorique constitué de 8 lignes de production.
- ◆ Unité de production d'engrais à quatre lignes de production.

***EMAPHOS (Euro- Maroc- Phosphore) :** En partenariat avec PRAYON (Belgique) et C.F BUDENHEIM (Allemagne), qui a démarré en 1988 pour la production d'acide phosphorique purifié.

***IMACID (Indo- Maroc acide phosphorique) :** Cette usine produit l'acide phosphorique et a démarré en 1999 en partenariat avec le groupe BIRLA (INDE) qui a démarré en 1999.

***PACKPHOS :** En partenariat avec le groupe Pakistanais FAUJI qui a démarré en 2007.

***BUNGE :** En partenariat avec le groupe brésilien BUNGE FERTLIZI ZANTES qui a démarré en 2009.

***JESA :** En partenariat avec le groupe américain Jacobs Engineering SA dont leur premier site ODI-P1 .

Chapitre 2 : Principe de fabrication d'acide phosphorique :



I. Présentation du projet ODI :

L'Owner Direct Investment (ODI) est un nouveau projet réalisé par le groupe OCP, c'est une unité autonome de production des engrais DAP de capacité 1MT DAP/an.

En effet 6 futures usines de production d'engrais (ODI) seront construites selon le même modèle et composées principalement des éléments suivants :

- Un atelier d'acide sulfurique d'une capacité de 1 350 000 tonnes métriques par an (base humide) (4200 tonnes/jour).
- Un atelier d'acide phosphorique d'une capacité de 450 000 tonnes métriques P₂O₅ par an (1400 tonnes/h).
- Un atelier d'engrais d'une capacité de 950 000 tonnes/an (équivalent DAP).
- Une centrale thermoélectrique d'une capacité de production d'environ 40 mégawatts.

La construction de chaque usine durera 22 mois, et a pour but d'atteindre une capacité de 950000 tonnes. Le démarrage de L'ODI-P1 était prévu en septembre 2013, Démarré en février 2015. Le budget général est environ 2.13 milliards de dirhams.

Les 6 ODI'S seront réalisés à l'horizon 2020, 3 seront finalisés vers la fin 2017 nommées respectivement P2 et P3 et qui sont réalisées en partenariat avec le groupe sud-coréen DAEWOO Engineering construction qui se charge de l'installation et du montage des équipements, de tous ce qui est tuyauterie ou charpente.

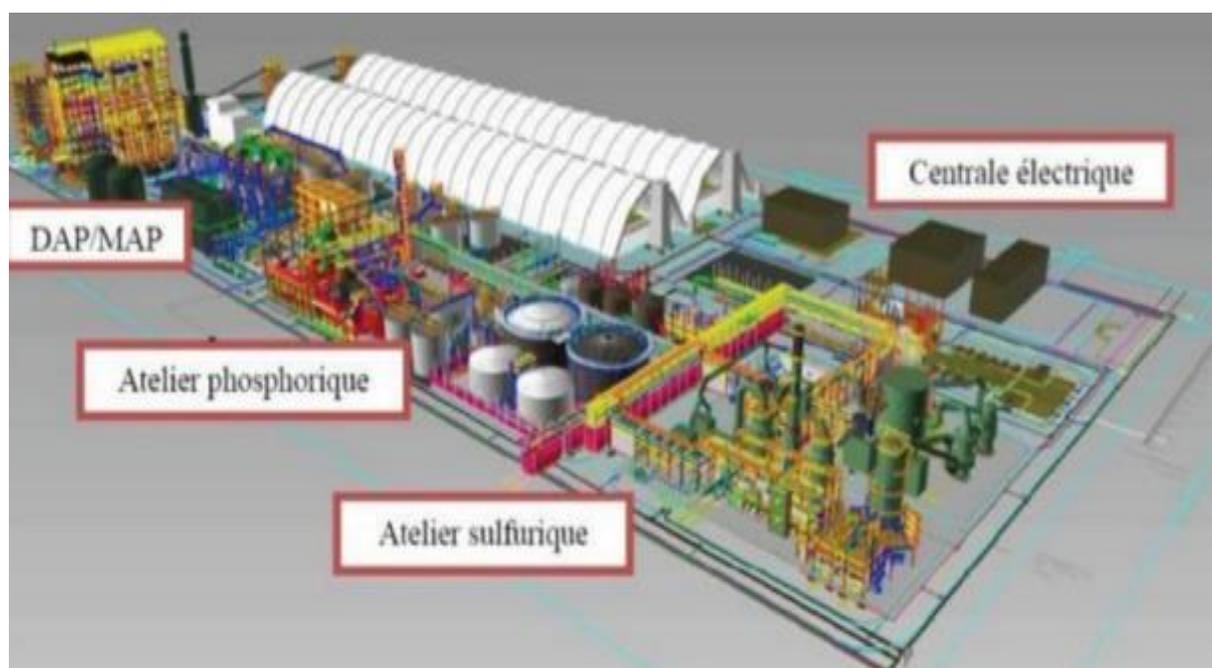


Figure 3: plan global de l'implantation de l'ODI

II. Description du procédé d'acide phosphorique de l'ODI :

1. Description :

L'atelier phosphorique se compose des unités suivantes:

- * 402A : Stockage, épaissement, et alimentation de la réaction en pulpe.
- * 403A : Réaction – filtration – laveur des fumées.
- * 413A : Stockage et clarification d'acide 28%.
- * 404A : Concentration acide 54% et distribution des utilités.
- * 404B : production du FSA (Acide fluosilicique).
- * 414A : Stockage et clarification d'acide 54%.
- * 425E : Tour de refroidissement des eaux de procédé.

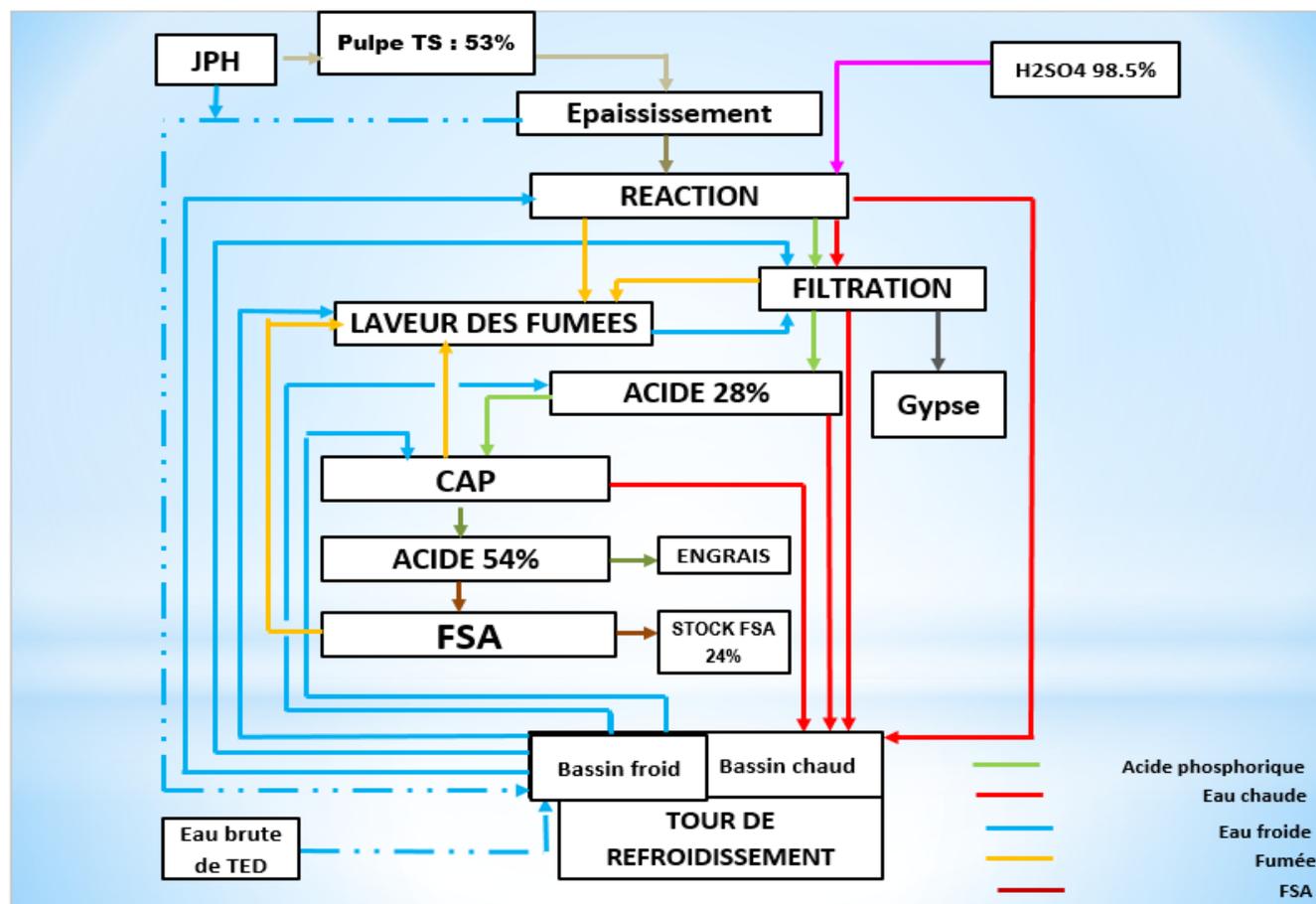


Figure 4: schéma globale de L'atelier phosphorique

2. *Épaississement*

La pulpe de phosphate de 53 % de solide est livrée à l'atelier PAP par le JPH vers les bacs de réception 402AAR02 et 402ABR02.

La pulpe est pompée vers l'épaississeur 402AAR03 où elle est mélangée avec le flocculant dans la conduite de la pulpe.

Une circulation de pulpe du cône de décharge par les pompes 402AAP05 - KP05 (débit=220m³) pour éviter un sur-épaississement ou une baisse de la densité de la pulpe.

La décantation a pour rôle d'augmenter le taux de solide de la pulpe de (53 à 65%) par gravitation avec un appoint de flocculant et d'une concentration dans l'eau de 01 à 02 g/l de solution pour pousser la décantation, et une alimentation d'air de service dans la zone intermédiaire pour pousser la séparation de l'eau et du solide par poussée d'air vers le haut suivant le principe de variation de densité.

La sortie du puits d'alimentation se situe dans la zone intermédiaire. Les solides en suspension dans cette zone agissent comme un filtre. Les particules solides qui sortent du puits sont captées par celles déjà présentes dans cette zone. L'agglomération des solides augmente leur densité et forme des floccs qui se décantent vers le fond du décanteur.

Le solide est évacué vers le cône de décharge par un racleur, la pulpe atteint un taux de solide de 65% au niveau du cône de décharge, puis refoulée par les pompes 402AAP03-BP03 - KP03 vers les bacs 402AAR06 -BR06, chaque bac est équipé d'un agitateur et à partir de ces bacs la réaction est alimentée par les pompes 402AAP06-BP06 - KP06.

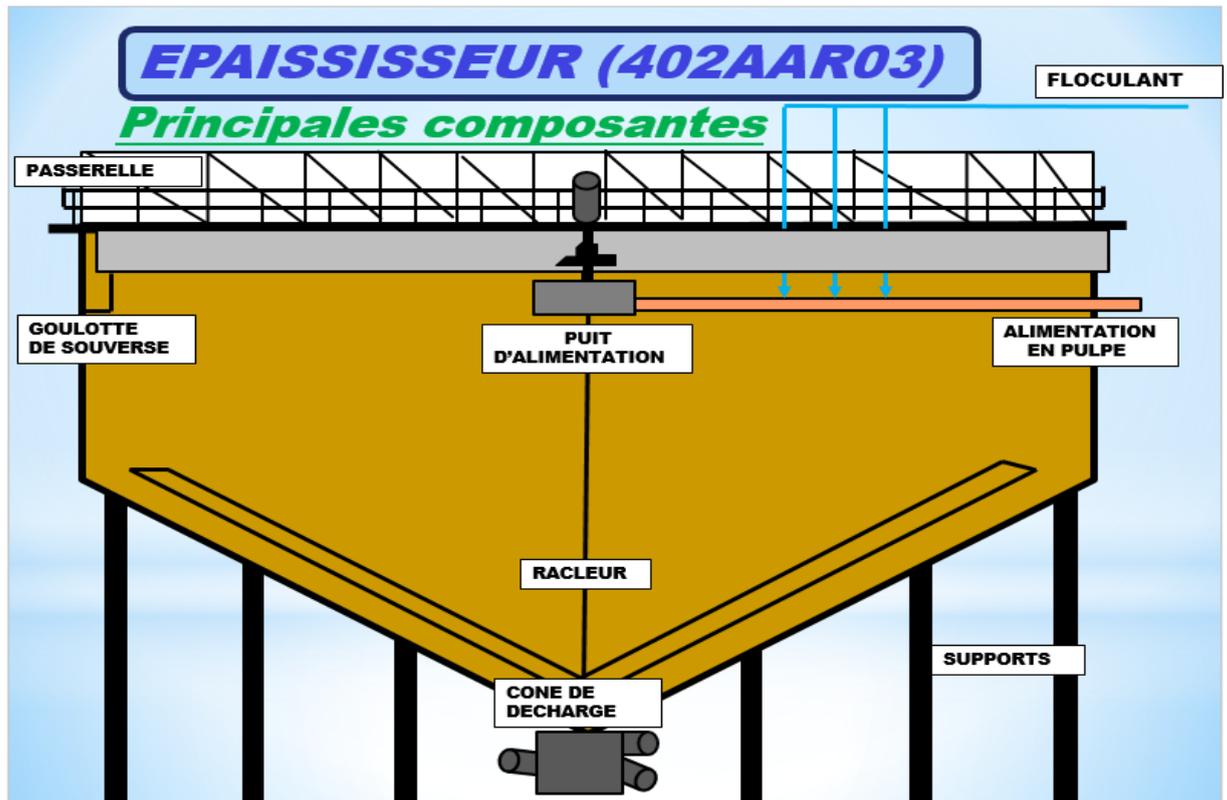


Figure 5: épaisseur

3. Réaction :

Le réacteur circulaire est alimenté par:

-La pulpe dans le compartiment n°1 par 03 conduites, il est alimenté aussi par de l'acide sulfurique provenant de l'atelier 401. Avant l'introduction de l'acide sulfurique dans le réacteur circulaire il est dilué par l'acide de retour au niveau de 03 dilueurs à double enveloppe, avec un rapport de dilution de 35%.

Les dilueurs ont un rôle primordial : ils assurent une meilleure dispersion de l'acide sulfurique en évitant les surconcentrations locales.

Le procédé est basé sur l'attaque du phosphate par voie humide dans un milieu réactionnel agité pour produire l'acide phosphorique 28% et du gypse dihydrate ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) appelé phospho-gypse.

Ce cristal peut prendre de différentes formes qui déterminent l'état de la filtration.

La réaction du phosphate et de l'acide sulfurique est exothermique, elle dégage une quantité de chaleur élevée et une autre quantité de chaleur dégagee par la dilution de l'acide sulfurique ; par conséquent, il s'impose un refroidissement de la bouillie pour garder la température constante.

Le refroidissement de la bouillie est assuré par un circuit d'assainissement composé des équipements suivants:

-Flash cooler 403AAD01.

-Laveur prés condenseur 403AAD02.

-Laveur condenseur 403AAD03

-pompe à vide 403AAC01.

La bouillie refoulée du réacteur circulaire vers la base du flash par deux pompes de circulation (403AAP01-403ABP01), il subit un refroidissement par dégagement de la vapeur d'eau et les gaz sous vide crée au niveau du flash, puis ils sont lavés dans le prés condenseur 403AAD02 avec l'eau de procédé en circuit fermé par les pompes 403AAP04 403AKP04 (une en marche l'autre en arrêt) qui alimente aussi les bacs de lavage toiles 403AR22 des 02 filtres.

La bouillie formée dans le réacteur circule du compartiment w vers l'anneau externe N°01 au N° 07 et ensuite passe au compartiment central puis vers le compartiment d'alimentation du flash où elle est reprise par les 02 pompes de circulation vers le bas du flash cooler en subissant un refroidissement et retour vers le compartiment garde hydraulique du flash.



Figure 6:Image d'une partie de la cuve d'attaque

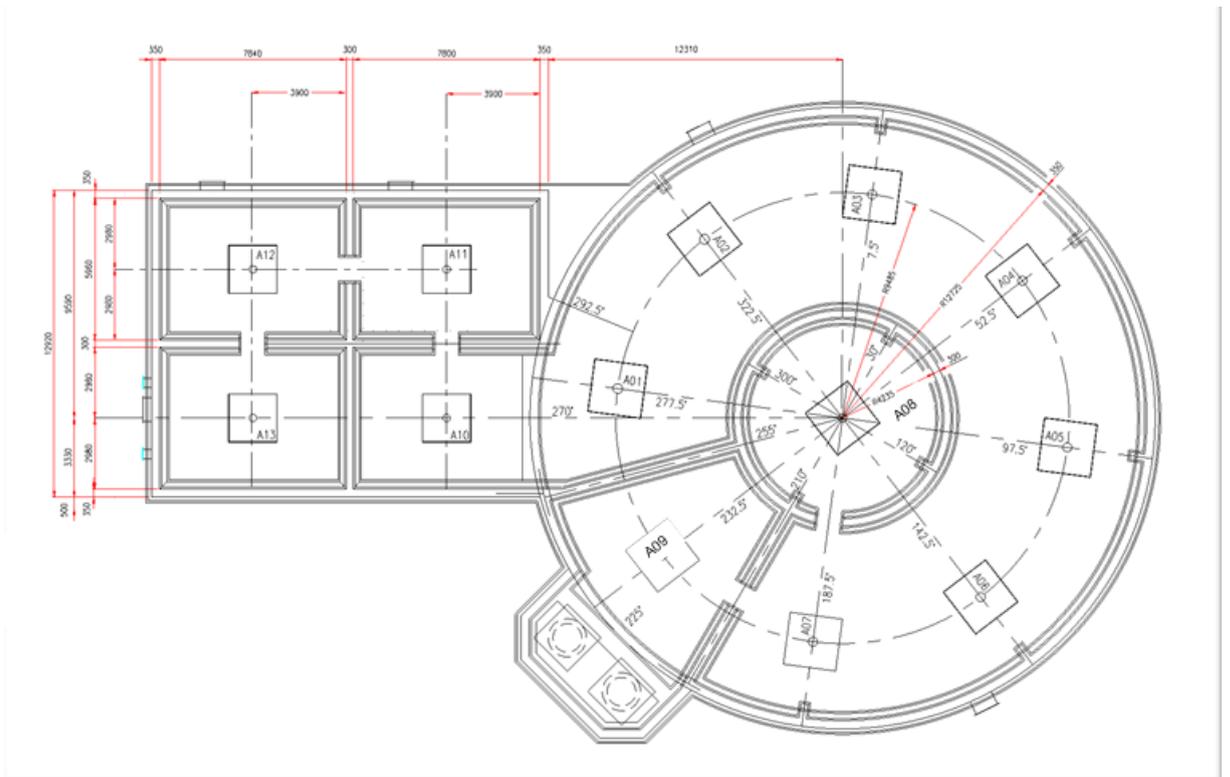


Figure 7: cuve d'attaque

La bouillie dans le réacteur circulaire est agitée, et homogénéisée puis transférée par 09 agitateurs 403AA01 au 403AA09 équipés de 02 rangées de pales et un dispositif pour casser les mousses qui sont générées dans la partie supérieure du réacteur.

La quantité de bouillie produite déborde dans la cuve de maturation par une gouttière dans le compartiment de la garde hydraulique de la jambe du flash ensuite vers le premier puis dans le deuxième compartiment et en phase final vers le dernier compartiment d'alimentation des filtres.

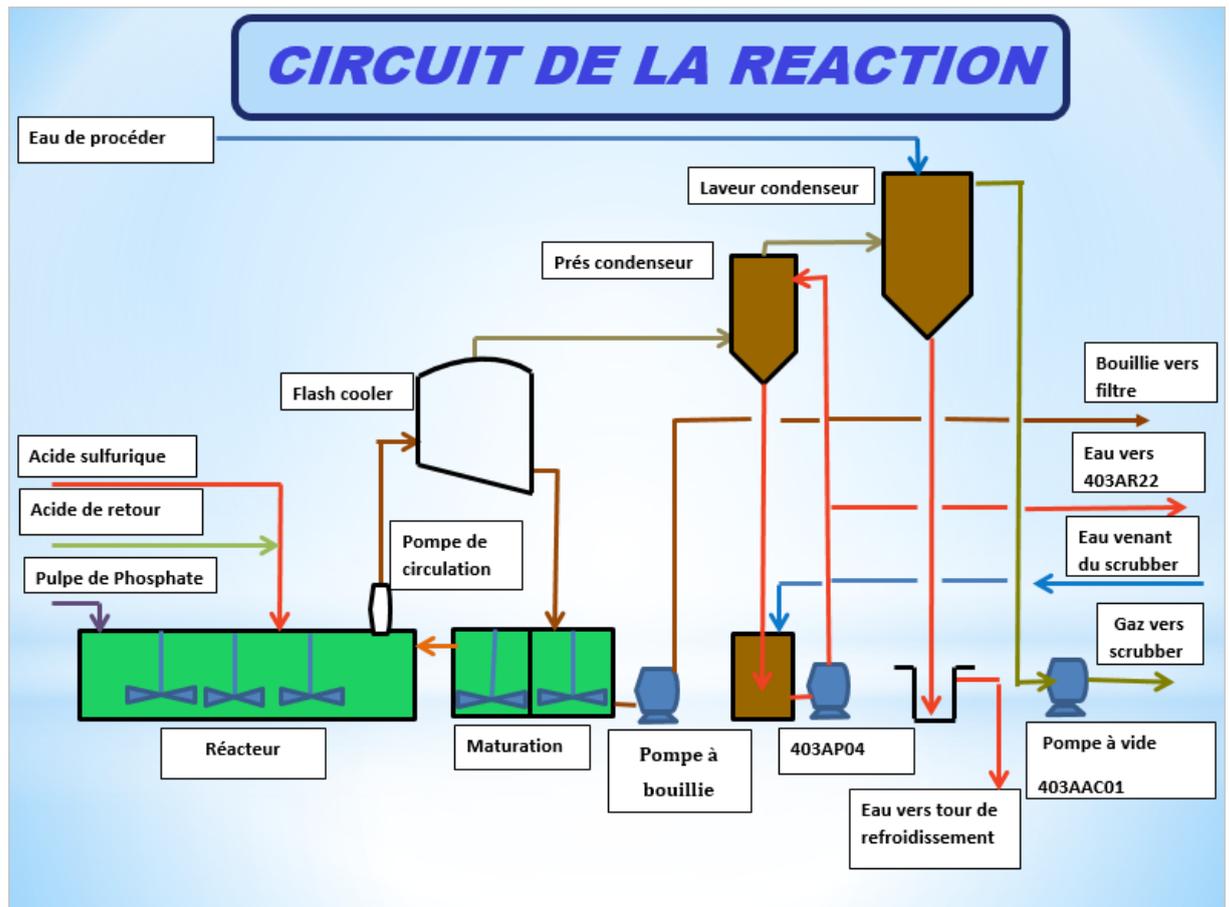


Figure 8: circuit de la réaction

La réaction :



4. Filtration :

La filtration de la bouillie est une opération qui consiste à séparer le gypse de l'acide produit de titre 28% par l'intermédiaire d'un filtre rotatif sous vide équipé des toiles filtrantes en polypropylène.

La bouillie formée au niveau de l'attaque est reprise vers le filtre par la pompe 403AAP02 à vitesse variable à partir de la maturation (compartiment du filtre).

Le premier contact de la bouillie avec le filtre forme une couche de gypse support de la filtration d'épaisseur 60 à 65 mm.

Le premier filtrat riche en impuretés et de solide est orienté vers l'aspiration de la pompe 403AP18 d'acide de retour vers la réaction.

Après formation du gâteau, commence la filtration de l'acide fort 28% pompé vers l'unité de stockage 413A par l'intermédiaire de la pompe 402AAP17.

Le P2O5 résiduelle dans le gypse subi un premier lavage avec l'acide faible refoulé par la pompe 403AAP19, recueilli après passage à travers le filtre par la pompe 403AAP18 et refoulé vers le réacteur comme acide de retour (acide moyen).

Le gypse subi un deuxième lavage par l'acide très faible par la pompe 403AAP20 et recueilli à l'aspiration de la pompe 403AAP19 comme acide faible.

Ensuite un troisième lavage par l'eau gypseuse refoulée par la pompe 403AAP21 à partir du bac 403AAR21 (acide très faible).

Un quatrième lavage par l'eau fraîche provenant du laveur des gaz.

Le 3eme et 4eme lavage sont recueillis dans un seul compartiment de la boîte à vide comme acide très faible de densité=1,010 à l'aspiration de la pompe 403AAP20.

A la fin du cycle de la filtration le gypse est extrait par basculement des cellules soufflées du bas par de l'air refoulé par le ventilateur 403AAC05, le gypse chute dans une trémie puis pulvé par l'eau de mer (15% de solide).

Ensuite les toiles sont lavées à l'eau chaude (60 à 65°C) par la pompe 403AAP22 à partir du bac 403AAR22, recueilli comme eau gypseuse dans le bac 403AAR21 ce dernier est alimenté par un appoint d'eau de procédé du pré-condenseur des gaz du flash.

Les gaz incondensables sont extraits de la partie supérieure du laveur et sont aspirés par la pompe à vide 403AC06, puis refoulés vers le collecteur d'alimentation du laveur des fumées (scrubber).

Les gaz extraits par le ventilateur de séchage toiles, de la section filtration et du bac de lavage toiles 403AR22 sont évacués vers le laveur de fumées.

6. Concentration d'acide 54% :

La concentration est alimentée par de l'acide de 28% clarifié de l'unité 413A, après chauffage de 40°C jusqu'à 70°C dans un échangeur 404AE01. Elle consiste sur l'évaporation sous vide de l'eau et d'autres corps volatils contenus dans l'acide phosphorique, un appoint d'anti-mousses injecté dans l'acide 28% qui alimente l'échelon juste à la sortie de l'échangeur pour réduire les mousses dans le bouilleur et éviter les entrainements de P₂O₅ vers la station de FSA.

Cette opération s'effectue de manière continue et en un seul étage dans le bouilleur 404AD01, associé à une pompe de circulation 404AP04 assurant un fort débit de recirculation vers l'entrée de l'échangeur 404AE02. La vapeur BP de pression provenant de la centrale thermique alimente la station de détente désurchauffe pour produire une vapeur BP.

Cette vapeur désurchauffée alimente l'échangeur tubulaire par la partie supérieure.

L'échange entre l'acide circulant à l'intérieur des tubes et la vapeur dans le calandre à l'extérieure des tubes produisant un transfert de chaleur nécessaire pour chauffage de l'acide en circulation dans l'échangeur tout en augmentant sa température de 03°C.

Les gaz sortant du bouilleur vers le séparateur 404AS02, où il y a une séparation liquide gaz, les gouttelettes d'acide sont récupérées en bas vers l'aspiration de la pompe d'acide produit 404AP05. Les gaz et la vapeur d'eau s'échappent sous vide de la partie inférieure du séparateur par une colonne à l'intérieur ensuite ils entrent dans le premier condenseur 404AD02 où ils subissent un lavage par l'eau de procédé à contre-courant et en circuit fermé par 03 rangées de 04 buses chacune par 404AP05 une dérivation prise au ref de la pompe comme production du FSA vers l'installation de production et de stockage du FSA.

Les gaz à la sortie du 404AD02 entrent dans le condenseur 404AD04 pour subir un 2ème lavage de même principe que dans 404AD02 par la pompe 404AP12, et les gaz incondensables sont extraits par la pompe à vide 404AC01 vers le séparateur 404AS04 puis vers le laveur des fumées scrubber.

7. Production de l'acide Fluosilicique :

Le gaz à la sortie du bouilleur 404AD01 est riche en fluore F et en silice Si sous forme de gaz HF et SiO₂ absorbés après un lavage par l'eau de procédé dans le premier condenseur en donnant un acide fluosilicique H₂SiF₆ selon la réaction suivante :



L'acide fluosilicique formé dans le 1^{er} condenseur de la ligne de concentration par une circulation avec appoint d'acide fluosilicique de faible teneur provenant du 2^{eme} condenseur dont la garde hydraulique est alimentée aussi par les condensats produites dans la gaine des gaz d'alimentation de l'épurateur des fumées.

L'acide fluosilicique produit (24%) est refoulé par la pompe 404AP06 qui alimente en parallèle les bacs de réception 404AAR01 et 404BBR01 et le bac de stockage 404 BAR11.

La pompe 404AP10 installée au pied des 02 bacs de réception alimente elle aussi en parallèle le bac de stockage 404BAR11 et le bac de production 414AR14, ce dernier alimente par la pompe 414AP34 le camion en cas d'expédition où le rejet de gypse en cas de manque de l'expédition ou blocage par niveau haut dans les bacs de l'unité FSA.

8. Stockage d'acide 54% :

L'acide 54% produit par les 03 lignes de concentration alimentent par les pompes 404 AP05 deux bacs 414AR13, 414AR12. Ces 02 bacs sont en communication par un collecteur au pied et à partir de ce dernier la pompe 414AP21 refoule vers le bac de stockage 414 AR03 ou vers les engrais.

Chapitre 3 : Partie Expérimentale

Le but de ce chapitre est d'avoir une étude sur :

- Le Bilan Fluor de l'atelier de production d'acide phosphorique.
- Diagnostique du phénomène de dépôt du CaF_2 .
- Proposition des actions d'amélioration pour réduire ces dépôts.

L'objectif de ce travail est de trouver des solutions au phénomène d'encrassement des échangeurs lié au comportement du fluor issu de la production de l'acide fluosilicique, D'abord il faut faire un bilan fluor réel de l'atelier pour suivre le comportement du fluor.

I. Bilan Fluor de l'atelier de production d'acide phosphorique :

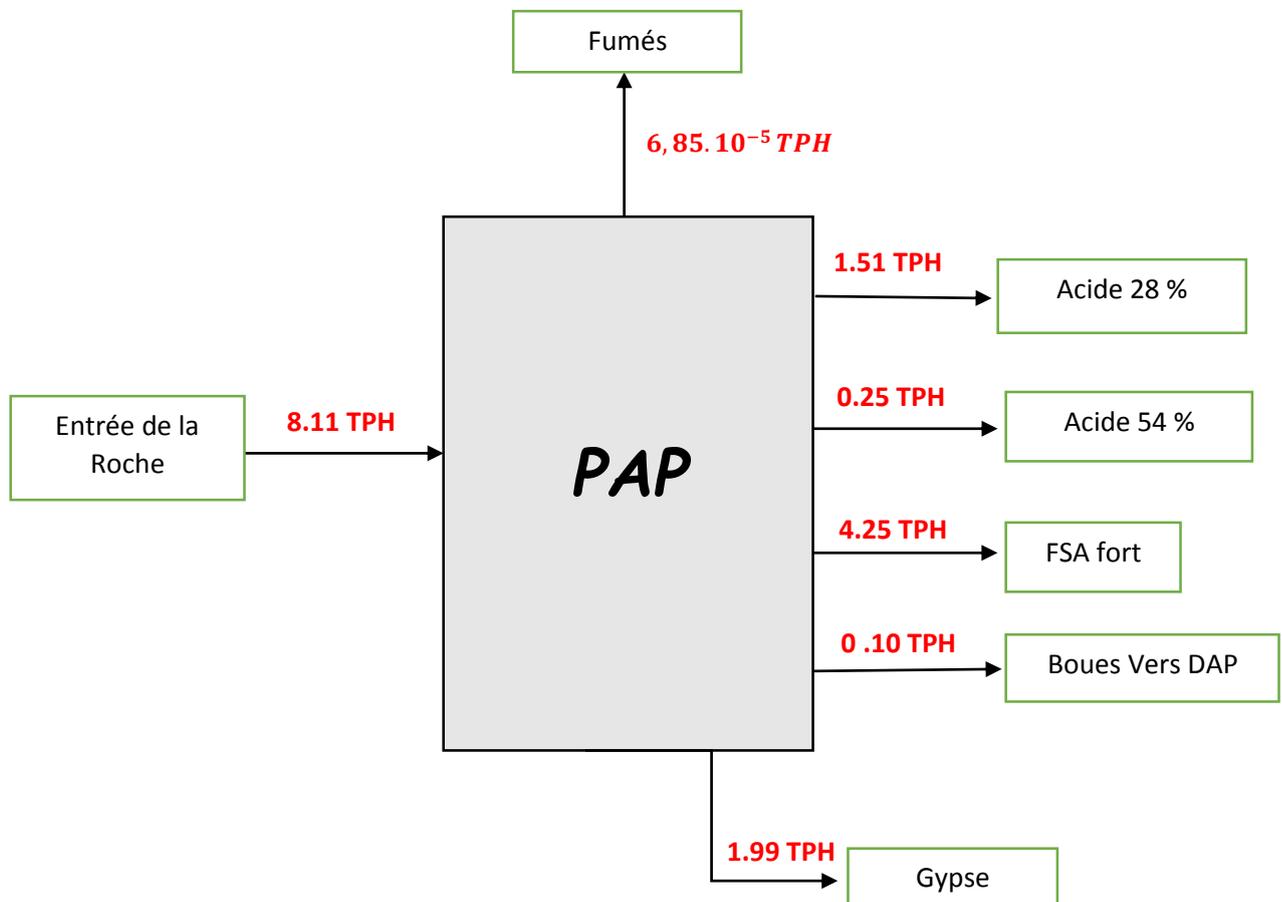
Pour faire un bilan il faut déterminer les quantités Fluor aux entrées et aux sorties

De l'atelier de production d'acide phosphorique

Comme entrées, il y a l'entrée de la roche

Et comme sorties il y a:

- Les fumés rejettent par le scrubber
- La production d'acide 28%
- La production d'acide 54%
- La production d'acide fluosilicique
- Les Boues d'acide entrant dans la fabrication des engrais
- Le rejet du gypse



Données :

Production journalière : 1500 t/h

$$\text{Production horaire} : \frac{1500}{24} = 62,5 \text{ t/h}$$

Le rendement : 97 %

La Roche :

Débit massique = 325 t/h

Taux de solide = 65%

Débit de la roche = Débit massique * Taux de solide

$$= 325 * \frac{65}{100}$$

$$= 211,25 \text{ t/h}$$

Teneur en Fluor = 3,52%

Quantité Fluor dans la Roche :

$$= 211,25 * 0,0352$$

$$= 7,44 \text{ t/h}$$

Le Gypse :

Débit massique = 1080 t/h

Teneur en Fluor = 0,17 %

Quantité Fluor dans le Gypse :

$$= 1080 * 0,0017$$

$$= 1,83 \text{ t/h}$$

FSA :

Débit volumique = 53 m³/h

Masse volumique = 1,27 t/m³

Débit massique = 53 * 1,27

$$= 67,31 \text{ t/h}$$

Teneur en Fluor = 5,60 %

Quantité Fluor dans la FSA :

$$= 67,31 * 0,056$$
$$= \mathbf{3,77 \text{ t/h}}$$

L'acide 28% :

Débit massique = 77 t/h

Teneur en Fluor = 1,78 %

Quantité Fluor dans l'acide 28% :

$$= 77 * 0,0178$$
$$= \mathbf{1,37 \text{ t/h}}$$

L'acide 54% :

Débit massique = 81 t/h

Teneur en Fluor = 0,27 %

Quantité Fluor dans l'acide 54% :

$$= 81 * 0,0027$$
$$= \mathbf{0,21 \text{ t/h}}$$

	Q_v (m^3/h)	Masse Volumique (t/m^3)	Taux de solide	Q_m (t/h)	Teneur en Fluor	Quantité Fluor Réel (t/h)	Quantité Fluor Théorique
<i>Roche</i>	-	-	65%	325	3.52%	7.44	8.11
<i>Gypse</i>	-	-	-	1080	0.17%	1.83	1.99
<i>FSA</i>	53	1.27	-	67.31	5.60%	3.77	4.25
<i>Acide 28%</i>	-	-	-	77	1.78%	1.37	1.51
<i>Acide 54%</i>	-	-	-	81	0.27%	0.21	0.25
<i>Boues</i>	200	-	-	-	0.04%	0.08	0.10

Remarque :

La quantité Fluor dégagée dans les fumées est très petite, alors on l'a considère négligeable.

Sur le Plan théorique on observe la conservation de la matière :

La quantité Fluor à l'entrée = les quantités Fluor dans les sorties

Par contre, dans le bilan réel on observe que La quantité Fluor à l'entrée est supérieure aux quantités Fluor dans les sorties.

Cette perte est observée dans le débordement du Bassin Chaud, le dégagement des vapeurs, et dans l'apparition du CaF_2 .

Alors c'est quoi le CaF_2 ? Comment apparait-il ? Pourquoi le bassin chaud débord ? Où passe la quantité d'eau débordée ?

II. Diagnostique du phénomène de dépôt du CaF_2 :

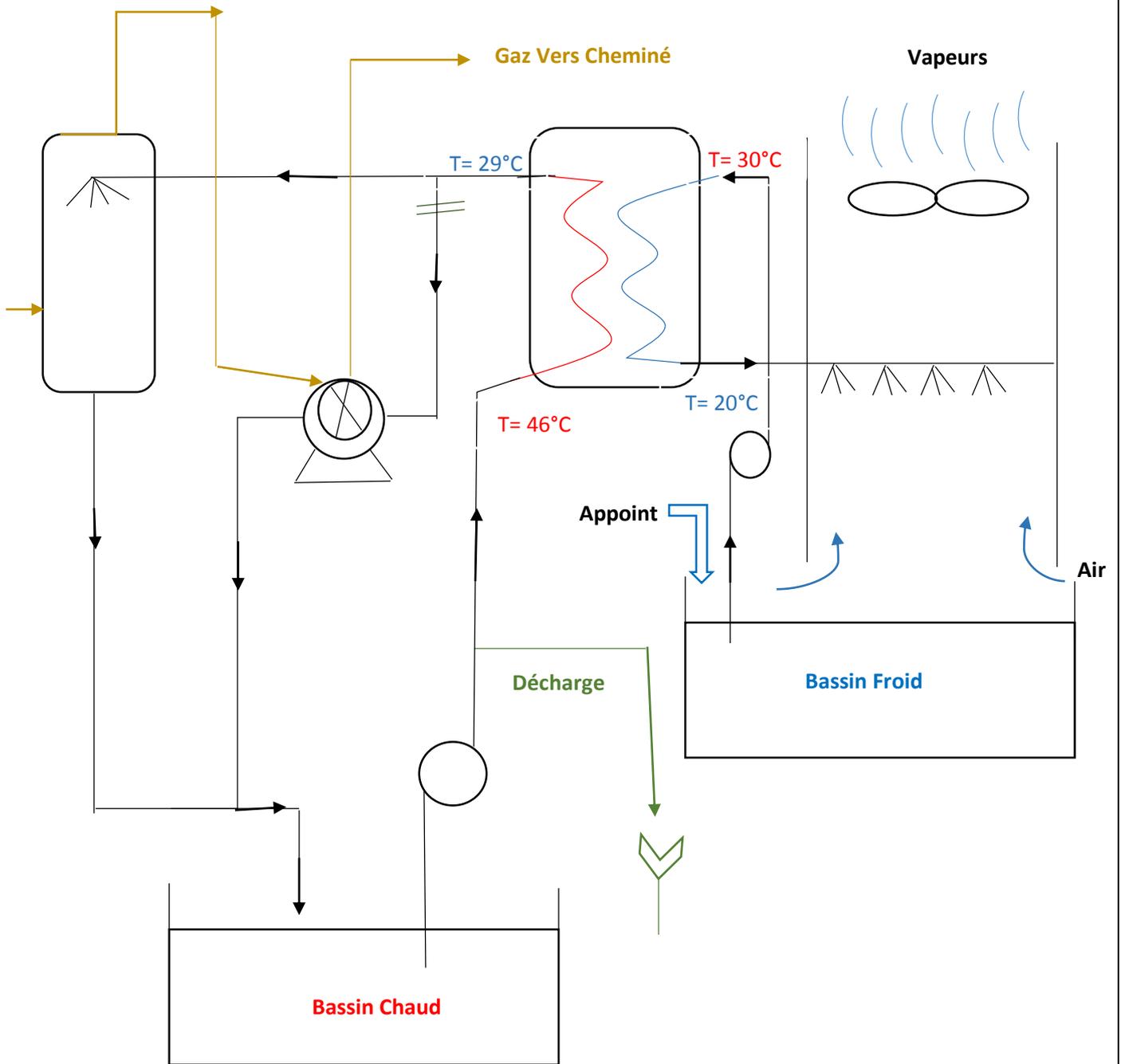


Figure 10: schéma du process condensat

La condensation des gaz se fait par leurs lavage, au début le lavage est fait directement par l'eau de mer.

L'eau de mer est pompée pour être pulvérisé sur les gaz, le contacte entre les gaz ascendants et l'eau descendant permet leurs condensation, l'eau de lavage qui est riche en impureté (essentiellement le Fluor) est évacuer vers la mer.

Mais suite aux normes réglementaires, il est devenu interdit de jeter le Fluor dans la mer à cause de sa toxicité, Alors ils ont été obligé d'installer une tour de refroidissement pour faire un lavage en circuit fermé.

Le circuit de lavage des gaz est constitué en deux compartiments :

Le premier est destiné seulement au refroidissement des eaux de lavage, il contient une pompe qui aspire du bassin froid et refoule dans l'échangeur pour permet l'échange thermique avec l'eau provenant du bassin chaud, l'eau sortant en bas de l'échangeur est pulvérisé sur le bassin froid, un courant d'air est créé par un ventilateur , le contact entre l'air ascendant et l'eau pulvérisé provoque un dégagement de vapeurs, la quantité de vapeur dégagé vers l'atmosphère doit être ajouté au bassin froid ($q_0 = q_1$).

Le deuxième est destiné à la condensation des gaz, la pompe aspire du bassin chaud et refoule dans l'échangeur pour refroidir l'eau avec lequel on va laver les gaz, il entre avec une température de 46° et sort avec 29° . Après son refroidissement il se pulvérise sur les gaz descendants pour permet leur condensation, les gaz non condensable sont pompés et dirigés vers le SCRABER pour qu'ils subissent un deuxième lavage, et l'eau du condensat se dirige vers le bassin chaud pour continuer le cycle en circuit fermé.

Après une période, les pompes commencent à s'éroder à cause du Fluor provenant des gaz, alors ils ont réfléchis d'alimenter les pompes avec l'eau douce. Après un temps le débit de l'échangeur diminue et sa température augmente, des analyses ont été effectuées et ils ont trouvés un dépôt du CaF_2 dans l'échangeur.

Le Fluor est provenu des Gaz, et le calcium de l'eau douce. La combinaison de ces deux constituants donne un dépôt de CaF_2

III. Généralités sur le phénomène de l'encrassement :

1. Introduction :

Les principaux problèmes de fonctionnement rencontrés par les utilisateurs d'échangeur de chaleur ont trait aux phénomènes d'encrassement, de corrosion, de vibrations et de tenue mécanique. Malgré tout, un certain nombre d'études publiées montre que l'encrassement reste au premier rang des préoccupations des industriels du secteur des équipements de transferts thermiques.

Le couplage encrassement – dégradation des échanges thermiques a de fortes répercussions sur la rentabilité de l'opération. Les coûts liés à l'encrassement des échangeurs avoisinent les 700 millions d'euros par an. Ces coûts intègrent les dépenses liées, d'une part, au dimensionnement (surdimensionnement de la surface d'échange à mettre en œuvre, incorporation d'équipements de nettoyage) à hauteur de 20% et, d'autre part, au fonctionnement (perte de production, diminution du transfert, frais de maintenance et nettoyage) à hauteur de 80%.

2. Les problèmes que cause l'encrassement :

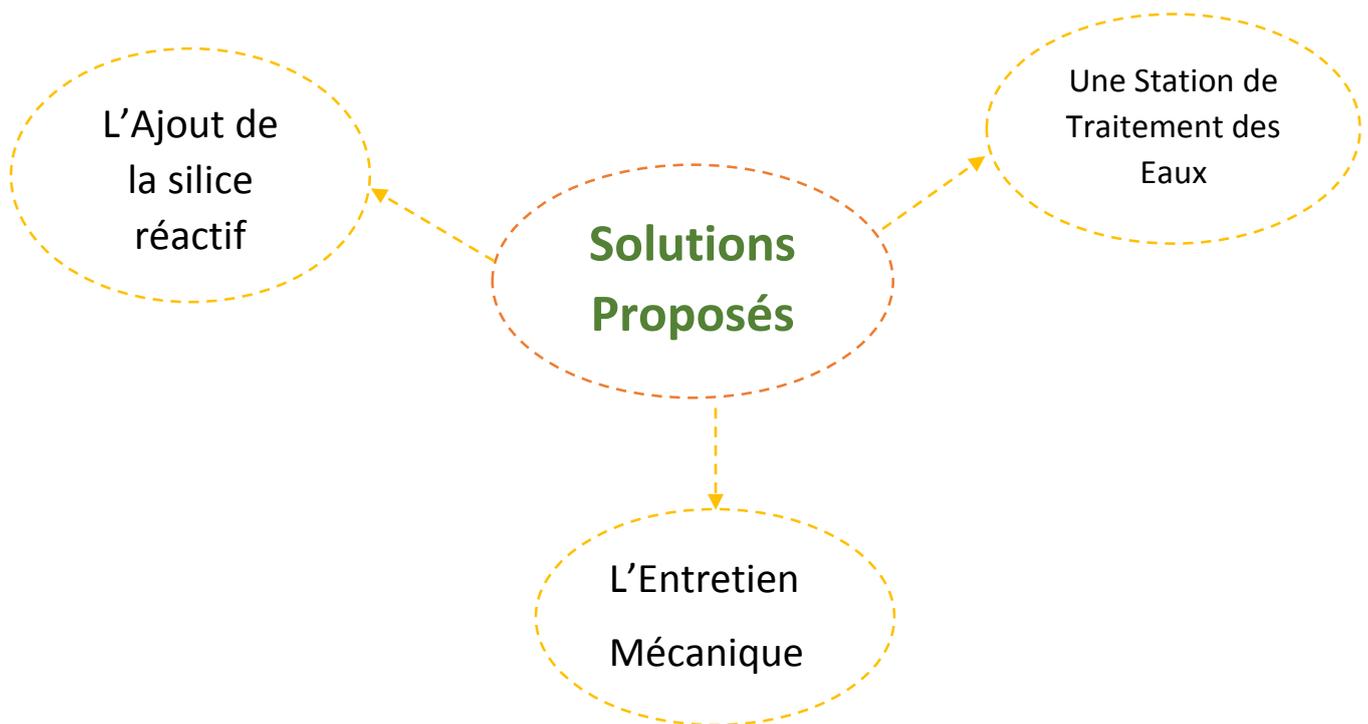
Les principaux problèmes causés par les dépôts sont :

- Diminution de la capacité d'échange thermique dans l'échangeur suite à un encrassement normal conduisant à la baisse de la cadence de production, ou un encrassement excessif conduisant au bouchage d'un grand nombre de tubes de l'échangeur et provoquant une augmentation de la vitesse de circulation dans les tubes non bouchés et une érosion de leurs surfaces.
- Diminution des volumes utiles dans le condenseur qui provoque une baisse des capacités de condensation conduisant à une diminution de la cadence de production et le dépassement des paramètres de marche tel que la température.
- Arrêts fréquents de production pour lavage par l'eau ou des interventions locales sur les équipements afin d'éliminer les dépôts par des moyens mécaniques.



Figure 11: Dépôt de la matière Encrassante

IV. Proposition des actions d'amélioration pour réduire les dépôts :



- L'Ajout de la silice réactif :

La roche à l'entrée est constituée de deux types de silice : non réactive et réactive, la réaction entre la silice réactive et le fluor n'est pas stœchiométrique, Par conséquent il y a une quantité de fluor en excès, les analyses au laboratoire montrent que le rapport SiO₂ sur le fluor est enivrant de 0.13, par contre la quantité nécessaire à la stœchiométrie est 0.53, donc l'ajout de la silice est Une solution radicale pour lutter ce problème comme il joue un rôle important dans la cristallisation du gypse

- La Station de Traitement des Eaux

Une autre solution, c'est d'agir sur le calcium pour éviter la formation du CaF₂ par l'utilisation de l'eau traitée (deminéralisée), donc il faut installer une station de traitement des eaux.

- L'Entretien Mécanique

Pour la gestion de ce problème, l'entretien mécanique de temps en temps est parmi les solutions proposées. C'est la cohabitation avec le problème.

On peut proposer aussi une autre solution : c'est de travaillé avec un autre type d'échangeurs qui contiennent un matériau qui ne permet pas le dépôt de CaF₂ (par exemple : la céramique), Mais les échangeurs à plaques sont les plus performant

Conclusion :

Au cours de notre période du stage au sein de l'atelier phosphorique, nous avons comme objectif de palier la problématique de l'encrassement des échangeurs de chaleur. En effet, grâce à un aperçu général sur le phénomène ainsi qu'à travers un suivi de l'évolution de certains paramètres pendant une période où l'encrassement voit le jour, nous avons illustré les effets du problème sur la marche de production de l'acide phosphorique, à savoir ;

- Augmentation de la pression coté source chaude ;
- Augmentation de la température du condensat à la sortie de l'échangeur ;
- Diminution de la cadence de Production.

La caractérisation du dépôt formé au sein des échangeurs, nous a permis de déceler les différents éléments constituant la matière encrassante, nous en avons déduit que la présence des éléments (F et Ca) augmentent la dureté des dépôts et diminuent leur porosité, il s'ensuit donc que l'opération de lavage devient difficile.

Nous avons également suivi la démarche de résolution des problèmes dans le but d'aborder le sujet de manière efficiente avec le moins de ressources et de temps possible pour apporter la solution la plus adaptée aux problèmes auxquels on devra faire face. La mise en évidence des différentes étapes de la démarche nous a permis de déceler les différentes causes racines et fixer par la suite l'objectif principal.

En définitive, nous signalons que le phénomène d'encrassement nécessite une attention particulière lors des différentes étapes de production allant du traitement du minerai jusqu'à l'étape de concentration à travers les points suivants pour assurer la bonne gestion de la problématique :

- La qualification du personnel chargé de l'exploitation.
- Contrôle régulier des équipements avant qu'ils subissent l'indisponibilité totale
- Réduire au minimum l'appoint d'eau douce pour réduire l'arrivée de Ca^{2+}
- Faire le lessivage chimique périodique

Annexe :

MANUEL OPERATOIRE ACP

https://fr.wikipedia.org/wiki/Fluorure_de_calcium

Support de formation

<https://www.crystran.co.uk/optical-materials/calcium-fluoride-caf2>

414A-PF-001

413A-PF-001

QU'EST CE OCP SYSTEM

Procédé PAP

Étude et analyse Processus fabrication Ac phos Attaque filtration (1)

<http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/encrassement/29258>

https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89changeur_de_chaleur

