



Symbole et abreviations

- OCP : Office Cherifien de Phosphate .
- IMACID : Indo-Maroc phosphore.
- CAP : Concentration de l' Acide Phosphorique.
- TRG : Taux de Rendement Globale.
- Pipeline : la conduite de transport de la pulpe de Phosphate.
- INI/P/P : atelier imacid spetialisé dans la fabrication de l'acide phosphorique.
- HP : Haute Pression.
- BP : Basse Pression.
- PPM : Partie Par Million.



Sommaire :

<u>INTRODUCTION GENERALE</u>	1
<u>Partie 1 : Aperçu sur l'activité du groupe OCP et d'IMACID</u>	2
<i>I/ Présentation du groupe OCP</i>	3
<i>II / Présentation d'IMACID</i>	4
♦ Les ateliers d'IMACID	5
<u>Partie 2 : Description du procédé de fabrication de l'acide phosphorique :</u>	7
<i>I/Généralités sur l'acide phosphorique et ses procédés de fabrication :</i>	8
♦ L'acide phosphorique	8
♦ La production d'acide phosphorique par voie thermique	8
♦ La production d'acide phosphorique par voie humide	9
<i>II/ La fabrication de l'acide phosphorique dans IMACID :</i>	10
♦ L'épaississement	10



- ♦ La préparation de la pulpe de phosphate _ _ _ _ _12
- ♦ L'attaque et la digestion _ _ _ _ _13
- ♦ La filtration _ _ _ _ _14
- ♦ La concentration _ _ _ _ _16

Partie 3 : présentation du sujet : _ _ _ _ _18

- ♦ Présentation du nouveau projet « pipeline » _ _ _ _ _19
- ♦ Description du problème au niveau de l'échelon de concentration _ _ _ _ _21

Partie 4 : Diagnostic et analyse de production et comparaison des paramètres physico-chimique du phosphate avant et après l'utilisation de la pulpe : _ _ _ _ _22

- ♦ Evaluation de performance de production avant et après l'utilisation de la pulpe _ _ _ _ _23
- ♦ Comparaison entre la qualité du phosphate sec et la qualité de la pulpe _ _ _ _ _26
- ♦ Diagnostic et analyse de performance de la section concentration _ _ _ _ _28

Partie 5 : solutions proposées pour l'amélioration de la performance d'un échelon en fonction des nouvelles conditions de marche : _ _ _ _ _31

- ♦ Bilan de la section de concentration acide phosphorique _ _ _ _ _32
- ♦ Vérification des bilans de la section CAP _ _ _ _ _35
- ♦ Plan d'action proposée pour améliorer la section CAP _ _ _ _ _36

CONCLUSION GENERALE _ _ _ _ _38

Bibliographie _ _ _ _ _39

Introduction

Le présent travail a pour objectif de proposer des solutions pour l'amélioration des performances d'un échelon (unité de concentration), vu le changement récent des caractéristiques physico-chimique de la pulpe qui a perturbé les paramètres de marche de la section CAP.

Dans ce rapport on peut distinguer cinq parties :

♦ **Partie 1 :**

Destinée à la présentation du groupe OCP et de la société d'accueil IMACID.

♦ **Partie 2 :**

Concerne la description du procédé qui englobe 4 étapes principales à savoir : l'épaississement ou broyage, l'attaque-digestion, la filtration et la concentration.

♦ **Partie 3 :**

Ce chapitre consiste à la présentation du sujet ainsi que la présentation de la technicité du « pipeline », ses avantages et les changements apporté par ce nouveau mode de transport du phosphate

♦ **Partie 4 :**

Ce chapitre permet de présenter une comparaison des caractéristiques physico-chimique entre le phosphate sec et la pulpe.

♦ **Partie 5 :**

Ce chapitre présente les solutions proposées pour l'amélioration des performances de la section CAP afin d'assurer une meilleure production d'acide 54%.



PARTIE 1 :

APERÇU SUR L'ACTIVITE DU GROUPE OCP ET D'IMACID

I. PRESENTATION DU GROUPE OFFICE CHERIFIEN DE PHOSPHATE :

1.1 Historique :

Mondialement, le Maroc détient les réservoirs les plus importants de phosphate dans son sous-sol, il est de l'ordre de 51,8 Milliard de tonnes, ce qui représente 75 % des réserves mondiales. Ses premières traces ont été découvertes en 1912, dans les régions des OULAD ABDOUN, zone de Khouribga. Son gisement est une superposition de couches de différentes teneurs situées à 120 Km du Sud-est de Casablanca.

Le phosphate provient de la décomposition des fossiles des animaux de mers qui ont vécu, il y a plusieurs millions d'années du fait que les mers et les océans recouvraient une grande partie des continents actuels.

La création de l'OCP fut en 1920 et l'exploitation n'a commencé qu'en 1921 dans la région d'Oued-Zem, depuis lors grâce aux besoins continus de l'agriculture mondiale en phosphate et la qualité du minerai extrait l'Office a connu une très vive expansion sans relâche.

Malheureusement, cette expansion fut interrompue brusquement à cause de la chute des prix sur le marché mondial, ce qui conduira l'état ainsi que l'OCP à revoir leur qualité jusqu'à ce temps basé sur les entrées en devises issues en vue d'éviter d'autres crises.

L'OCP a commencé une très large industrialisation avec son activité et a créé des usines pour les dérivées du phosphate (acide phosphorique, fertilisants, etc...), ce qui constituera le noyau du groupe OCP.

Cependant, en ces dernières années, l'activité a repris grâce au dynamisme que connaît le groupe actuellement, et en développement du partenariat avec les pays importateurs manifestes en créant des entreprises mixtes, et comme cité avant, grâce à la diversification de l'activité pour passer de l'extraction pure et simple du pays et au faible coût d'exploitation.

Le groupe OCP livre aux cinq continents de la planète ; ses exportations représentent 25 à 30% du commerce international du phosphate et de ses dérivés présents dans cinq zones géographiques du pays (3 sites d'exportations minières : Khouribga-Youssoufia, Boucraa-Laayoun et deux sites de transformation chimique : Jorf Lasfar et Safi qui constituent un vecteur de développement régional et national important.

- 1920 : Début de l'extraction du phosphate à boujniba (Khouribga).
- 1930 : Ouverture d'un nouveau centre de production de phosphate (Youssoufia).
- 1950 : Mise en œuvre de la méthode d'extraction en découverte à Khouribga.
- 1960 : Développement de la mécanisation du souterrain à Youssoufia.
- 1965 : Démarrage de Maroc phosphore I-II à Safi.
- 1970 : Création de la structure organisationnelle intégrant l'OCP et ces entreprises filiales.
- 1980 : Partenariat industriel en Belgique : Démarrage du site de Jorf Lasfar avec Maroc phosphore III- IV.



- 1990 : Exportation des nouveaux projets de partenariat industriels de renforcements des capacités.
- 2000 : Démarrage d'une unité de flottation de phosphate à Khouribga.

II. PRESENTATION D'IMACID:

Introduction

Dans le cadre de sa politique visant à diversifier ses alliances stratégiques, sécuriser une partie de ses exportations et fidéliser sa clientèle, l'Office Chérifien de Phosphate s'est rapproché de la société indienne CHAMBAL FERTILIZER & CHEMICAL LIMITED appartenant au groupe privé BIRLA. Cette coopération a donnée naissance à l'usine IMACID. Inaugurée le 20 Novembre 1997, la production débutera en l'an 1999. Son capital s'élève à 620 millions de dirhams.

Ce projet a coûté 2 milliards de DH et il occupe une surface de 112 500 m². Un troisième actionnaire fut introduit dans le capital d'IMACID ; il s'agit de TATA CHEMICALS Ltd filiale du groupe indien TATA suite à un accord signé le 21 mars 2005 à New Delhi. La commercialisation du produit est répartie comme suit :

- 1/3 pour le partenaire BIRLA.
- 1/3 TATA CHEMICALS.
- 1/3 pour l'OCP.

Ce complexe industriel a démarré en octobre 1999 à proximité du complexe Maroc Phosphore III – IV à Jorf Lasfar, dont la construction du projet a augmenté la capacité de la production d'acide phosphorique à la plateforme de Jorf Lasfar de 25%.

IMACID bénéficie des avantages du site de Jorf Lasfar :

- La proximité du gisement minier de Khouribga ;
- La proximité du port avec un grand tirant d'eau ;
- L'alimentation en eau de mer et eau douce sur de faibles distances ;
- La dotation de site de grandes facilités industrielles ;
- La possibilité d'utilisation de l'infrastructure de Maroc Phosphore III – IV.

Ce complexe permet de produire annuellement 330 000 tonnes P₂O₅, nécessitant la transformation de :

- 330 000 tonnes de soufre ;
- 3 millions m³ d'eau de procédé ;
- 120 millions m³ d'eau de mer ;
- 1.2 millions de tonnes de phosphates de Khouribga ;
- 1.12 Million de tonnes d'acide sulfurique.

Description des différents ateliers d'IMACID :

Pour assurer sa production annuelle d'environ 330 000 tonnes de P_2O_5 (qui nécessite 330 000 tonnes de soufre, 3 millions m^3 d'eau de procédé, 120 millions m^3 d'eau de mer, 1.2 Million de tonnes des phosphates de Khouribga, et 1.12 Million de tonnes d'acide sulfurique). IMACID dispose d'un ensemble d'ateliers qui rassemblent leurs biens et services produits schématisé comme suit :

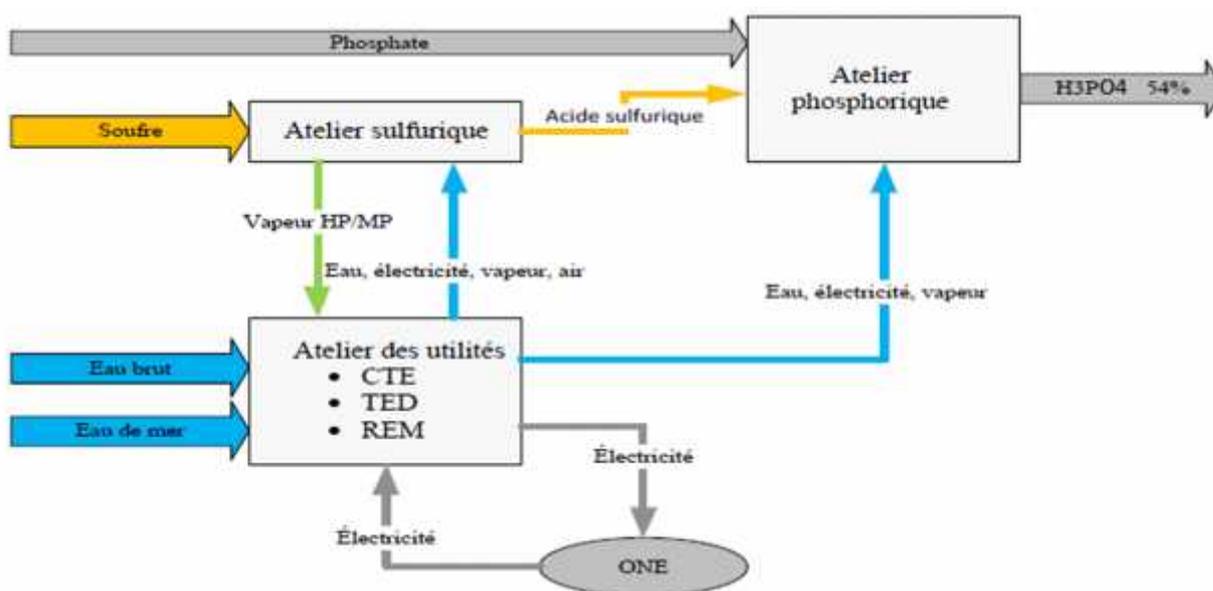


Figure 1: Schéma bloc des ateliers d'IMACID

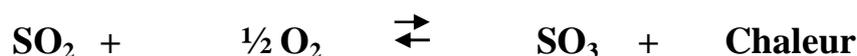
Atelier sulfurique :

Le procédé de fabrication d'acide phosphorique par voie humide consiste à attaquer la pulpe de phosphate par un acide fort. L'acide d'attaque utilisé à IMACID est l'acide sulfurique, qu'on produit dans l'atelier sulfurique dont les caractéristiques sont :

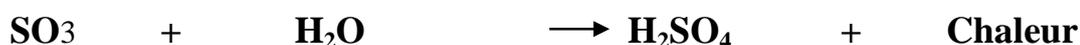
- ☞ Capacité: 3800 tonnes monohydrate par jour;
- ☞ Procédé: MONSANTO à double absorption.
 - La combustion du soufre dans un four pour former le dioxyde du soufre



- La conversion de SO_2 en SO_3 avec l'oxygène



- L'absorption





Atelier phosphorique :

L'atelier phosphorique d'IMACID a pour activité de produire l'acide phosphorique 29 % et 54 % de P_2O_5 par voie humide. Ce procédé de fabrication se révèle être relativement simple, en mettant en Jeu la réaction du phosphate broyé avec l'acide sulfurique concentré, pour donner une suspension d'acide phosphorique (29% P_2O_5) et de sulfate de calcium ; l'opération est suivie d'une filtration puis d'une concentration et enfin d'une clarification de l'acide phosphorique».

Capacité nominale : 1000T P_2O_5 par jour d'acide, qualité marchande 54% ;

Constructeur du procédé : PRAYON MARK IV ;

Système de broyage: broyage humide ;

Filtration: filtre à cellules basculantes ;

Concentration: trois échelons (unité de concentration de l'acide phosphorique) de 440T P_2O_5 par échelon, à échangeurs tubulaires de graphite.



Partie 2 :

Description du procédé de fabrication de l'acide phosphorique

Rapport-gratuit.com 
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Introduction

La réussite de tout projet repose entre autre sur le niveau de maîtrise des processus ou phénomènes régissant l'entité étudiée. Tenant compte de cela, nous avons consacré ce chapitre à l'étude de généralités concernant les procédés de fabrications de l'acide phosphorique. Par ailleurs, ce chapitre contient une description du procédé de fabrication d'acide utilisé au niveau d'IMACID.

I/GENERALITES SUR L'ACIDE PHOSPHORIQUE ET SES PROCÉDES DE FABRICATION:

L'acide phosphorique :

L'acide phosphorique H_3PO_4 est le principal dérivé de la chimie du phosphore, il tient son importance du fait qu'il est utilisé dans plusieurs procédés, notamment, dans les engrais, les détergents, l'alimentation animale, les insecticides, les huiles, les lubrifiants, etc. C'est un liquide, incolore, de température d'ébullition : environ $160^\circ C$, de masse molaire : $100,46 \text{ g/mol}$, de masse volumique: ($20^\circ C$) $1,53 \text{ g/cm}^3$.

Il peut être fabriqué à partir des phosphates naturels suivant deux procédés de base :

✚ **Procédé par voie thermique.**

✚ **Procédé par voie humide.**

La production d'acide phosphorique par voie thermique :

Ce procédé consiste à brûler le phosphate dans un four électrique, pour obtenir le P_2O_5 qui est ensuite hydraté pour produire finalement l'acide phosphorique H_3PO_4 . Les étapes principales de ce procédé sont : La calcination, l'oxydation et l'absorption.

La calcination:

Le phosphate est réduit à l'état de phosphore par chauffage à haute température en présence de carbone. La réaction chimique qui se produit est la suivante :



L'oxydation:

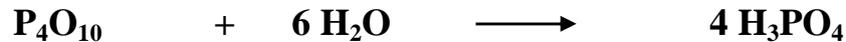
Le phosphore ainsi obtenu, se transforme en P_2O_5 en présence de l'oxygène atmosphérique selon la réaction suivante :





L'absorption (hydratation):

Le P_2O_5 se dissout dans l'eau pour former l'acide phosphorique :

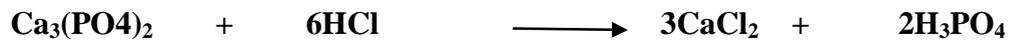


▪ La production d'acide phosphorique par voie humide :

Il consiste à attaquer les phosphates naturels par un acide fort. Les trois grands types d'acides utilisés sont : les acides chlorhydrique, nitrique et sulfurique.

❖ L'attaque chlorhydrique:

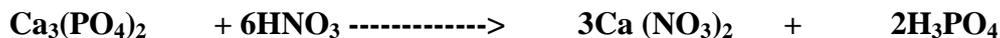
L'attaque à l'acide chlorhydrique est représentée par l'équation :



(Ce procédé est très peu utilisé) (Cher)

❖ L'attaque nitrique :

L'attaque à l'acide nitrique se représente par l'équation:



(l'utilisation de cet acide est très limitée.)

❖ L'attaque sulfurique:

L'attaque à l'acide sulfurique entraîne l'apparition de sulfate de calcium dans l'acide phosphorique fabriqué.

Suivant la température à laquelle elle se produit, le sulfate de calcium est plus ou moins hydraté et prend naissance soit sous forme de di hydrate (ou gypse : $CaSO_4 \cdot 2H_2O$), soit sous forme de semi-hydrate (ou plâtre : $CaSO_4 \cdot \frac{1}{2}H_2O$), soit sous forme d'anhydre (ou sulfate de calcium anhydre $1CaSO_4$).

• Procédé di hydrate : (T<90°C)



Généralement, l'attaque du phosphate se fait par l'acide sulfurique parce qu'il est disponible, avec un faible prix de revient. Son procédé de fabrication exothermique, contribue principalement à la régénération de l'énergie électrique du complexe.

Les procédés par voie humide sont largement utilisés dans le monde du fait qu'ils donnent un acide de faible prix de revient, cependant, il est de moindre qualité que celui obtenu par les procédés par voie thermique.

Les quatre principales phases de production d'acide phosphorique par voie humide sont : l'épaississement-broyage, attaque-filtration et concentration. Les principaux procédés sont: **Rhône-Poulenc**, **Prayon**, **Nissan** et **Jacobs**.

La différence entre ces procédés apparaît surtout au niveau du réacteur où s'effectue l'attaque :

- ✚ Pour le procédé Nissan : Le réacteur est constitué d'un ensemble de cuves en série.
- ✚ Pour le procédé Rhône-Poulenc : Le réacteur est constitué d'une seule cuve agitée.
- ✚ Pour le procédé Prayon : La cuve d'attaque est de forme carrée et cloisonnée en compartiments.
- ✚ Pour le procédé Jacobs : La cuve cette fois ci est de forme cylindrique et cloisonnée en compartiments.

II/ LA FABRICATION DE L'ACIDE PHOSPHORIQUE DANS IMACID:

Le procédé adopté au niveau d'IMACID (PRAYON MARK IV) utilise l'acide sulfurique comme agent d'attaque du phosphate. Il est constitué de quatre étapes principales:

▪ L'épaississement :

L'unité d'épaississement est une unité destinée à l'augmentation du taux de solides de la pulpe de phosphate.

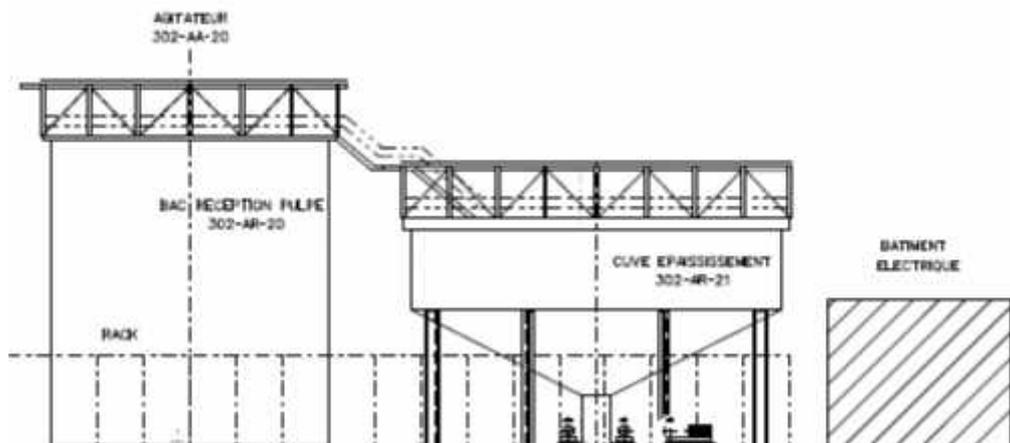


Figure 2 : unité épaississement

L'unité est constituée d'un ensemble d'éléments :

Bac de réception de la pulpe

C'est un bac de capacité de 2500 m³, assurant une autonomie de 12h de production. Le bac est doté d'un agitateur tournant à une vitesse de 16 RPM sous l'entraînement d'un moteur électrique de 200 KW de puissance et 1500 RPM de vitesse angulaire.

Deux pompes de soutirage (l'une en service et l'autre en réserve) permettent de transférer la pulpe du bac de réception vers l'épaississeur à un débit nominal de 307 m³/h entraînées par des moteurs de 715 RPM de vitesse.

Epaississeur :

L'épaississeur est appareil de sédimentation gravitaire dont l'alimentation est introduite du centre du réservoir cylindrique. L'épaississeur est équipé des éléments suivants :

- Un racleur entraîné par 4 moteurs de puissance de 7.5 KW ;
- Un système de dilution P-DUC permettant la dilution de la pulpe jusqu'à 10% ;
- Deux pompes de recirculation d'un débit de 426 m³/h, permettant de réaliser la recirculation selon deux circuits : une circulation basse dans le cylindre de décharge qui en maintient, en continu, l'agitation et une circulation haute vers le haut de l'épaississeur permettant de diluer le contenu du cylindre de décharge ;
- Deux pompes de transfert permettant le transfert de la pulpe concentrée vers la cuve d'attaque avec un débit de 213 m³/h.

Bac de débordement :

Un bac de 68 m³ de volume permettant de contenir l'eau qui déborde de l'épaississeur et de le transférer, selon sa turbidité, soit à l'unité de lavage des gaz (Turbidité <100ppm), soit au bac des effluents (turbidité >100ppm). Le transfert de l'eau de débordement est effectué à l'aide de deux pompes de 60 m³/h de débit.

Station de floculation :

La station de floculation permet d'alimenter l'épaississeur en floculant (agent favorisant la sédimentation). En fait, le floculant est alimentée dans une trémie de stockage. Une vis sans fin 302AW02 permet de transférer le floculant vers la trémie d'alimentation 302AR23. De cette trémie, le floculant est envoyé au réservoir agité de mélange 302AR24 à l'aide d'un souffleur 302AC01. La solution préparée (3g/l de concentration) est transférée vers le réservoir d'alimentation 302AR25 via une électrovanne de transfert.

1) La préparation de la pulpe de phosphate :

Le phosphate stocké dans les hangars, est envoyé par des convoyeurs vers une trémie de stockage intermédiaire, assurant ainsi une autonomie du broyeur. De cette trémie, le phosphate est envoyé à débit réglable vers le broyeur à boulets.

Le broyage a pour rôle la préparation du grain de phosphate à l'attaque, en lui conférant la porosité et la granulométrie permettant d'obtenir une surface d'échange optimale. Ce broyage du phosphate se fait par voie humide, dans le but d'obtenir à la sortie du broyeur une pulpe contenant 65% poids de solide.

La représentation détaillée de la section broyage :

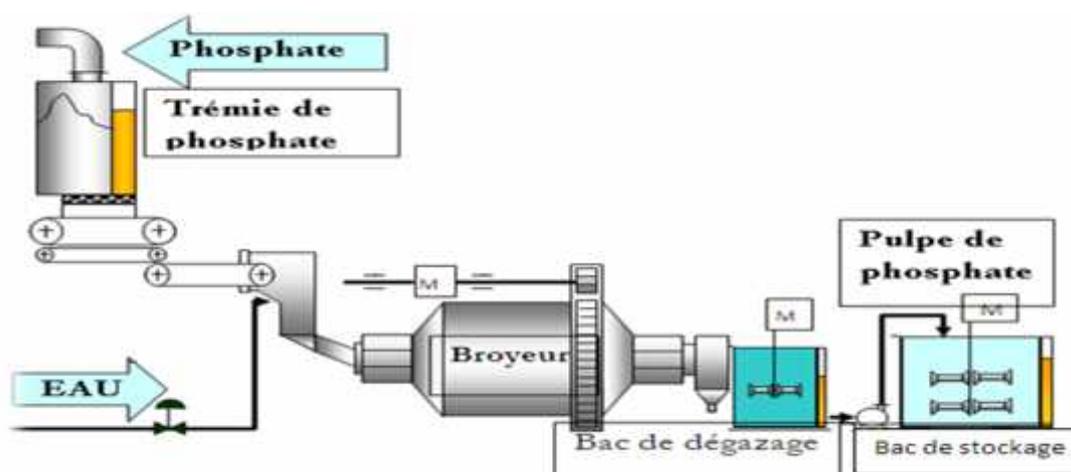


Figure 3 : La préparation de la pulpe de phosphate

▪ L'attaque et la digestion:

L'attaque:

La section d'attaque à IMACID comprend deux cuves d'attaque du phosphate et deux flashes cooler (de lignes A et B).

Les réacteurs A et B sont composées respectivement de six et quatre compartiments.

Lors de l'attaque, l'acide sulfurique est mélangé à l'acide phosphorique recyclé dans un mélangeur puis injecté dans un compartiment choisi par le responsable de production ; tandis que la pulpe, les boues extraites du décanteur et les effluents liquides sont introduits au niveau d'autres compartiments. , munis chacun d'un agitateur à trois rangs de pales de modèle PRAYON. Le produit de réaction d'attaque est une bouillie d'acide phosphorique qui traverse les compartiments de la cuve, siège d'une agitation permanente, permettant son homogénéisation et le maintien des cristaux formés en suspension.

Ces réactions chimiques étant exothermiques, il est donc nécessaire de refroidir la bouillie à une température de l'ordre de 78-80°C afin d'assurer la formation de cristaux de sulfate de calcium déshydraté. Ce refroidissement est réalisé dans un évaporateur à bas niveau (low level flash cooler : LLFC), maintenu sous vide.

Afin de limiter la formation de mousses dans l'évaporateur, une injection d'anti-mousse est prévue dans la tuyauterie à l'entrée de l'appareil. Les gaz quittant l'évaporateur sont lavés par l'eau brute puis condensés par l'eau de mer.

Le flow-sheet de la section d'attaque :

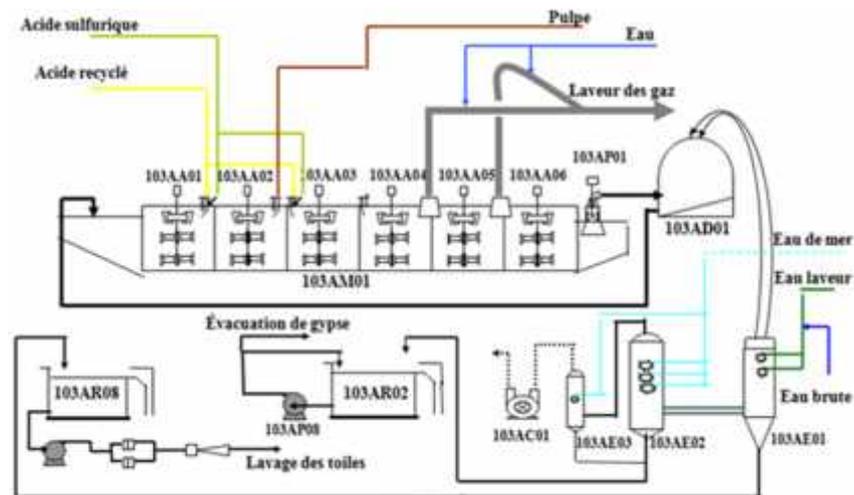


Figure 4: Flow-sheet de la section d'attaque (Ligne A).

La digestion:

C'est à partir du dernier compartiment de la cuve d'attaque, que la bouillie s'écoule vers la section digestion munie des agitateurs, en augmentant ainsi le temps de séjour des cristaux. Ceci permet d'améliorer la cristallisation du gypse et de compléter la réaction d'attaque.

Le flow-sheet de la section digestion est illustrée dans la figure suivante :

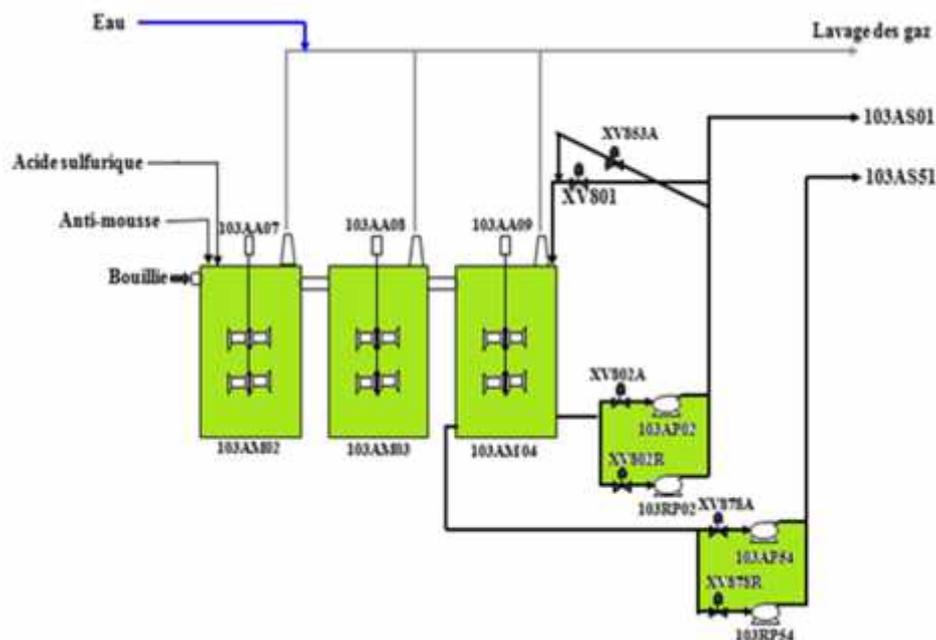


Figure 5 : Flow-sheet de la section digestion

▪ **La filtration :**

La section filtration comprend deux filtres à cellules basculantes BIRD-PRAYON. Au niveau de chaque filtre, se fait la filtration de la bouillie issue de la cuve d'attaque correspondante, au moyen du vide créé par l'eau de mer.

Le filtre est composé de quatre secteurs, à savoir:

1. Secteur acide fort.
2. Secteur acide moyen.
3. Secteur acide faible.
4. Pré secteur.

▪ **Secteur acide fort :**

A ce stade, le filtrat a une teneur de 27-29% en P_2O_5 . C'est l'acide fort qui passe vers le stockage.

▪ **Secteur acide moyen :**

Le gâteau formé à ce niveau comporte encore des quantités non négligeables de P_2O_5 , Il est donc nécessaire de lui effectuer un lavage. Le lavage se fait par l'acide faible venant du secteur acide faible, ce qui donne un acide moyen d'une teneur de 22% en P_2O_5 .

▪ **Secteur acide faible :**

Le gâteau subit un deuxième lavage, mais cette fois par l'eau. Le filtrat à ce niveau a une teneur de 5 % en P_2O_5 et il est réutilisé au premier lavage.

▪ **Pré secteur:**

Le gypse est finalement déchargé dans une trémie arrosée d'eau de mer. Après lavage, les toiles et les godets reprennent leur position d'origine et le ventilateur de séchage facilite le drainage de l'eau résiduaire. Le schéma récapitulatif de la section attaque-filtration :

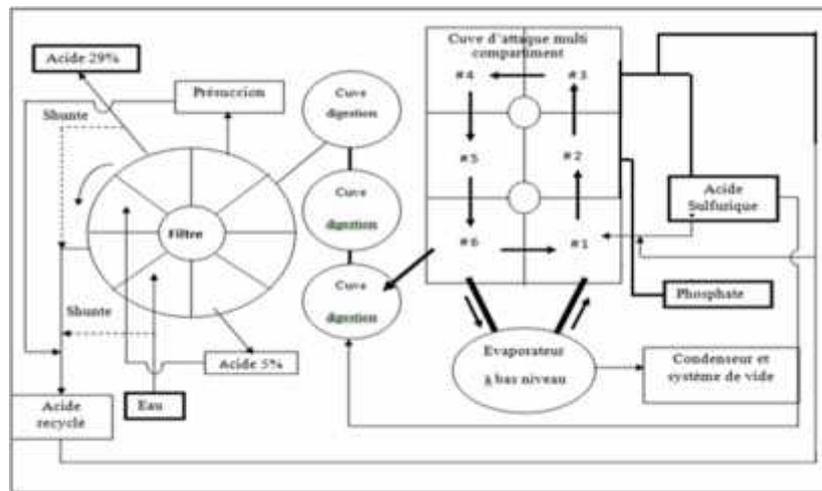


Figure 6: Flow-sheet de la section attaque-filtration.

Un système de lavage des gaz reçoit les gaz fluorés venant de:

- La cuve d'attaque ;
- Des cuves de digestion ;
- La hotte du filtre BIRD-PRAYON.

Il est destiné à abattre la quantité de fluor rejetée à l'atmosphère.

▪ La concentration :

Après la filtration, l'acide phosphorique produit a une concentration de 27-29% en P_2O_5 . Ceci le rend non utilisable pour la fabrication de certains produits envisagés, d'où la nécessité de sa concentration.

Pour ce faire, il passe tout d'abord par une étape de stockage caractérisée par :

- Le stockage dans un bac agité appelé : 'dé saturateur'.
- Le passage par débordement à un deuxième bac appelé : 'décanteur' afin de diminuer le taux de solide. La boue décantée est introduite dans l'un des compartiments de la cuve d'attaque.
- Le passage de l'acide décanté vers un troisième bac nommé « bac tampon », par débordement, cette fois aussi.

La section concentration est composée de quatre échelons. Chaque échelon est constitué d'un bouilleur, une pompe et un échangeur de chaleur tubulaire.

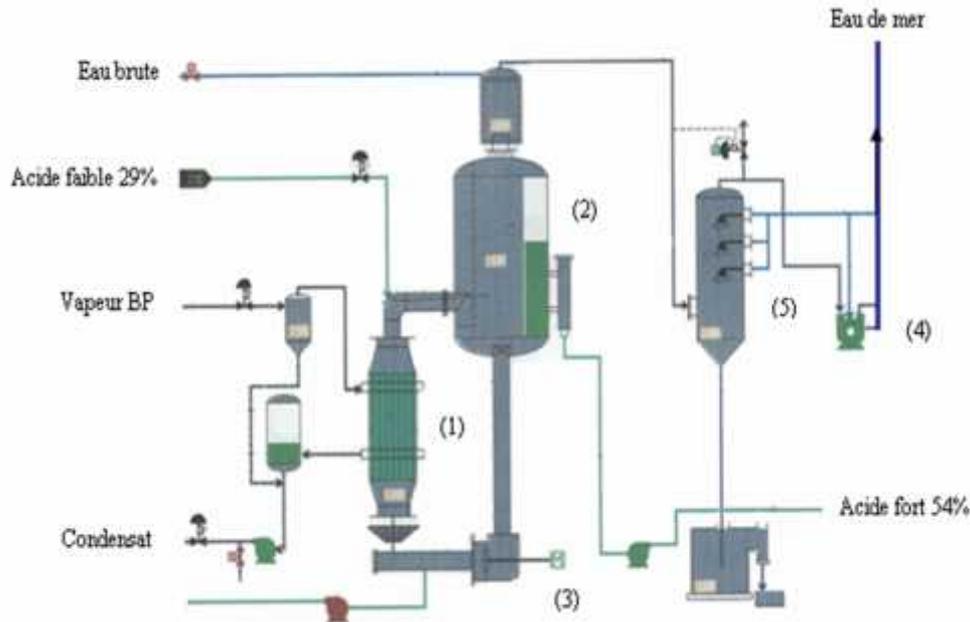


Figure 7 : schéma d'un échelon de concentration

- (1): échangeur de chaleur ;
- (2) : Bouilleur ;
- (3) : pompe de circulation ;
- (4) : Pompe à vide ;
- (5) : Laveur condenseur

L'acide phosphorique fait un circuit fermé entre l'échangeur et le bouilleur. En effet l'acide dilué est introduit en bas de la colonne et s'achemine par une pompe de circulation vers l'échangeur où il est chauffé par de la vapeur basse pression, puis envoyé vers l'évaporateur où a lieu l'évaporation d'une partie de l'eau. L'acide produit est acheminé vers un bac de stockage d'acide 54%.



Partie 3

Présentation de sujet

I. DESCRIPTION DU NOUVEAU PROJET « PIPELINE » : **LE SLURRY PIPELINE**



Un saut technologique dans l'exploitation du phosphate au Maroc

EN RÉVOLUTIONNANT LE TRANSPORT DES PHOSPHATES AU MAROC, LE SLURRY PIPELINE TRANSFORME EN PROFONDEUR LA CHAÎNE DE VALEUR INDUSTRIELLE DU GROUPE.

Jusque-là, les processus se basaient sur un mode de production discontinu qui désormais laisse place à un mode intégré basé sur l'acheminement hydraulique de la pulpe de phosphate. C'est donc une nouvelle 1^{ère} qui vient de s'ouvrir pour l'exploitation des phosphates au Maroc. La mise en place du Slurry pipeline, réalisé à partir de matériaux innovants, alliant sécurité, étanchéité et effet anticorrosion, impacte grandement les capacités de production du premier exportateur de phosphate au monde.

Entièrement enseveli sous deux mètres de terre, ce pipeline, permet au Groupe OCP d'augmenter ses capacités de minières, les portants de 18 à 38 millions de tonnes par an.

S'inscrivant dans le cadre d'une nouvelle politique industrielle d'OCP, le Slurry pipeline a nécessité de nombreux changements au niveau des activités minières et chimiques. Toutes les installations industrielles s'y afférant ont subi des transformations.

Moins coûteux, plus écologique et davantage respectueux de la nature, ce mode de améliore considérablement la compétitivité volume / coût de production et réduit efficacement l'empreinte écologique.

A la pointe de la technologie minière, le Slurry Pipeline confère au Groupe OCP une plus grande flexibilité vis-à-vis des marchés internationaux et confirme son leadership mondial et son engagement pour une agriculture durable.



Figure 7: le trajet du pipeline

Le Slurry Pipeline au cœur de la stratégie de développement industriel du Groupe OCP

Avec sa capacité de transport de 38 millions de tonnes annuellement, le Slurry pipeline apporte une solution performante et écologique, permettant d'atteindre les objectifs stratégiques de :

- CapacityBoost : accroissement des capacités de production et de transport de 18 millions de tonnes par an à 38 millions de tonnes par an
- Cost Leadership: réalisation d'économies de coûts, résultat du saut technologique et des choix de nouvelles méthodes d'exploitation et de la conception du nouveau processus.
- Flexibilité Industrielle : augmentation de la flexibilité de production, pour répondre aux fluctuations du marché.
- Développement Durable : Elimination des émissions en CO₂ liées aux activités de séchage, manutention par convoyeurs... et préservation des ressources.

CHIFFRES CLES

- 38 millions de tonnes par an de phosphate transporté contre 18 millions de tonnes auparavant
- 187 Km : longueur du pipeline principal.
- 48 Km : longueur des pipelines secondaire.



- 98% : taux de disponibilité.
- 90% : Réduction des coûts logistiques.
- 930 337 tonnes par an de réduction des émissions CO₂.
- 3 millions m³ par an d'économie en eau.

II. DESCRIPTION DU PROBLEME AU NIVEAU DE L'ECHELON DE CONCENTRATION

Lorsque l'industrie a commencé à travailler avec le pipeline. La pulpe qui arrive de Khouribga contient de petits grains de P₂O₅ et une grande quantité d'eau. Alors qu'avant, on utilisant le phosphate sec il contenait un pourcentage important de P₂O₅.

Après l'attaque de la pulpe dans le réacteur fermé parfaitement agité par l'acide sulfurique 98,5% et l'acide recyclé. La bouillie passe au filtre. Au niveau de ce dernier, ils ont remarqué que l'acide filtré à une quantité faible en P₂O₅ par rapport à l'acide recueilli en utilisant le phosphate sec. Alors que le gypse qu'ils jettent dans la mer, il contient un pourcentage plus grand en phosphate qu'avant, et l'entreprise risque d'avoir des pertes de matière et du phosphate inattaqué.

L'acide à la sortie du filtre doit avoir une concentration de 29%. Mais on utilisant la pulpe, on trouve une concentration qui ne dépasse les 24%. Ainsi que, à l'entrée de l'échangeur, le débit de vapeur qu'ils utilisaient avant ne suffit plus à évaporer l'excès de l'eau présent dans l'acide phosphorique. Ils se sont trouvés dans l'obligation d'augmenter le débit de vapeur d'eau, et de diminuer le débit d'entrée d'acide phosphorique 29% et la cadence, pour avoir une concentration acceptable à la sortie de l'échelon qui respecte les normes exigés par les acheteurs.

Partie 4 :

**Diagnostic et analyse des performances de
production et comparaison des paramètres physico-
chimique du phosphate avant et après l'utilisation de
la pulpe**

Introduction

« Un problème bien défini est moitié résolu », pour cela on a consacré ce chapitre pour établir un diagnostic global de l'état des performances de production de l'acide phosphorique avant et après l'utilisation de la pulpe, afin de déceler les paramètres influençant les performances de production et les analyser pour trouver des solutions adéquates par la suite.

I. EVALUATION DE PERFORMANCE DE PRODUCTION AVANT ET APRES UTILISATION DE LA PULPE :

▪ Définitions des indicateurs de performance :

Nous allons définir à ce stade les différents indicateurs de performance de production à la base duquel on peut situer l'état de production de l'acide phosphorique.

▪ Rendement industriel :

Le rendement industriel indique la quantité d'acide 29% extraite de la quantité du phosphate consommée. Il est calculé par la formule suivante :

$$\text{Rend. Industriel (attaque-filtration)} = \frac{\text{Production Acide 29\% (TP}_2\text{O}_5\text{)}}{(1 - (\text{H}_2\text{O}/100)) * (\% \text{P}_2\text{O}_5/100) * \text{Tonnage de phosphate consommé}} \times 100$$

▪ Productivité :

La productivité indique la quantité produite de l'acide 54% par heures de production. Elle sert à calculer le TRG.

$$\frac{\text{Production acide 54\% (j.m.A) (en Tonnes)}}{\text{heures de production (j.m.A)}}$$

▪ TRG :



Le TRG (Taux rendement Global) est une mesure de la performance d'une ligne ou d'une machine. Il montre globalement où le temps est perdu et catégorise les pertes et les axes d'amélioration.

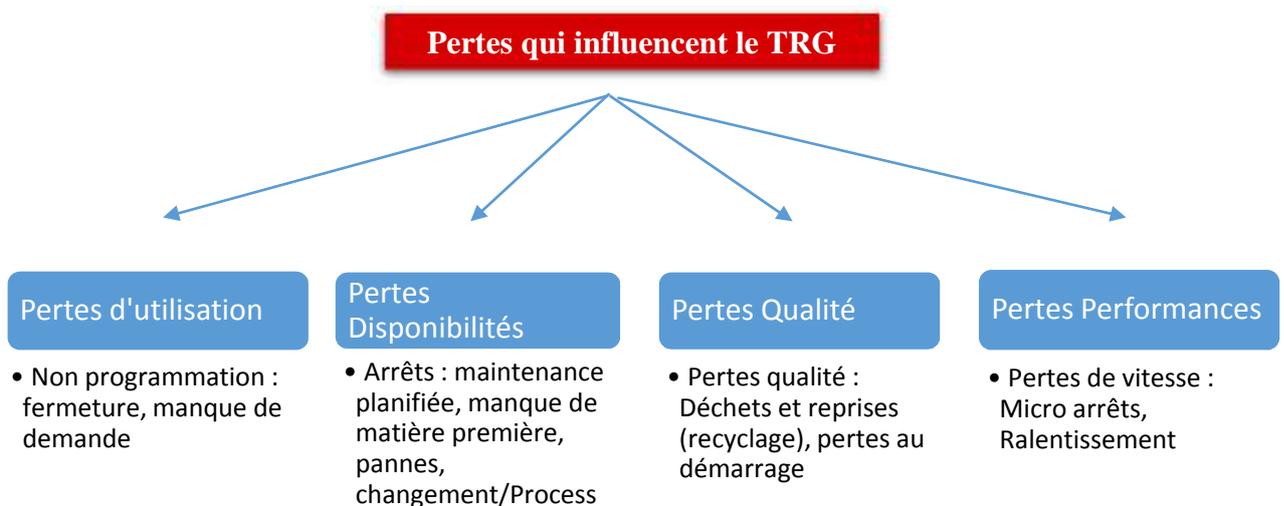
La mesure du TRG doit s'améliorer, montrant ainsi que la ligne produit mieux et plus vite

$$\text{TRG} = \text{Taux d'allure} * \text{Taux d'utilisation}$$

$$\text{Taux d'allure} = \frac{\text{Productivité}}{\text{Productivité ciblée}}$$

$$\text{Taux d'utilisation} = \frac{\text{Heures de marches}}{\text{Heures total}}$$

La diminution de l'indicateur TRG est inversement proportionnel aux pertes TRG :



$$\text{Total des pertes TRG} = \sum \text{Pertes d'arrêts} + \text{pertes de vitesse}$$

$$\begin{aligned} &= [\text{Pertes externes (arrêts externes)} + \text{pertes lavage} + \text{pertes arrêts process} \\ &\quad + \text{Pertes pannes} + \text{Pertes arrêts programmés} \\ &\quad + \text{Pertes arrêts plateforme}] + \text{Pertes de vitesse.} \end{aligned}$$

Les pertes d'arrêts sont dues aux heures d'arrêts.

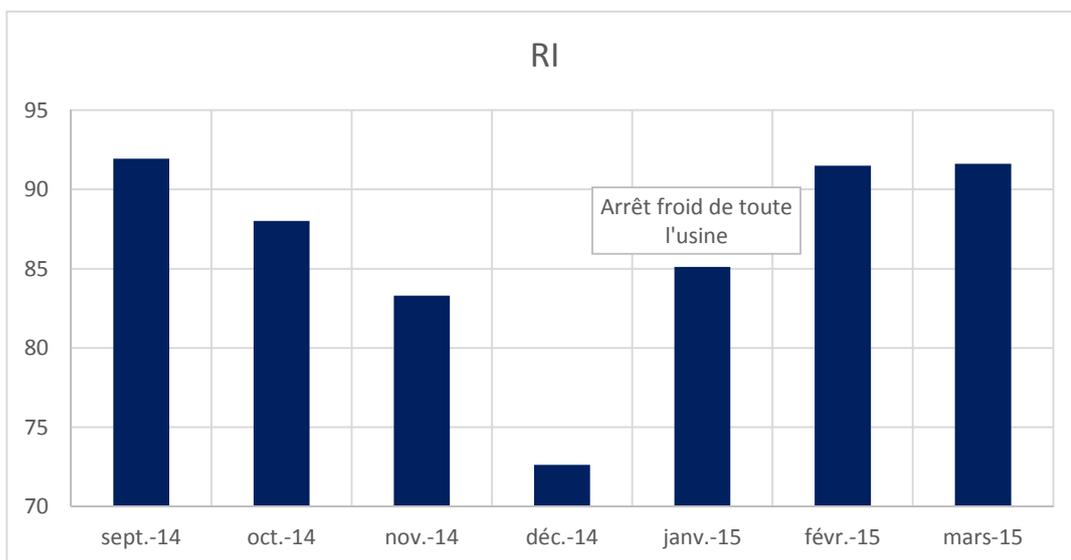
$$\text{Pertes TRG de vitesse} = \frac{(100 - \text{Taux d'allure}) * \text{Heures de marche}}{\text{Heures total}}$$

- Etat des lieux des indicateurs de performance de production :

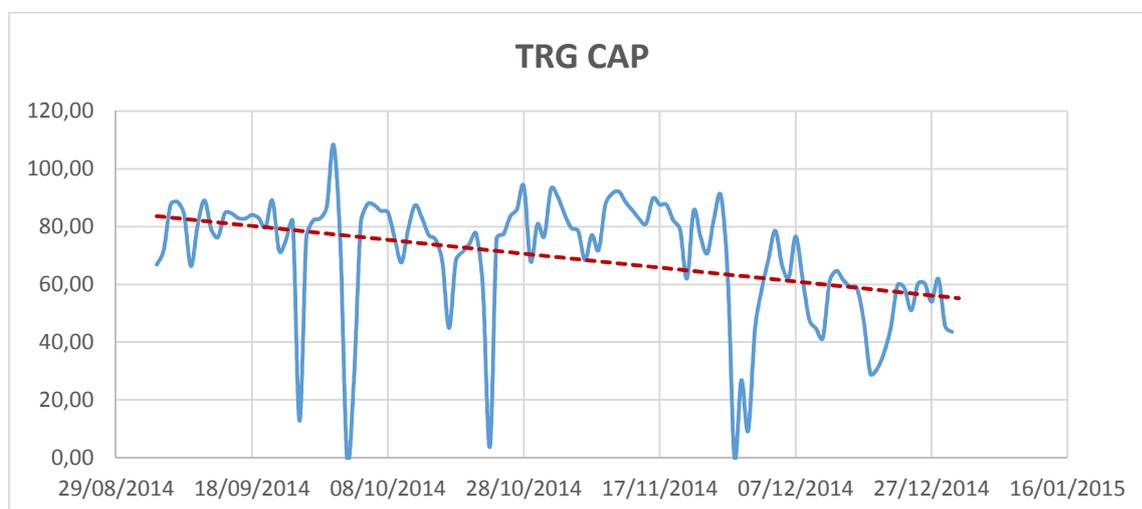
Les tracés ci-dessous représentent l'évolution des indicateurs de performances avant et après l'utilisation de la pulpe.

- Rendement industriel :

L'utilisation alternative de la pulpe et du phosphate sec depuis le mois 09/2014 est remarquable par une dégradation graduelle du rendement industriel jusqu'au mois décembre.

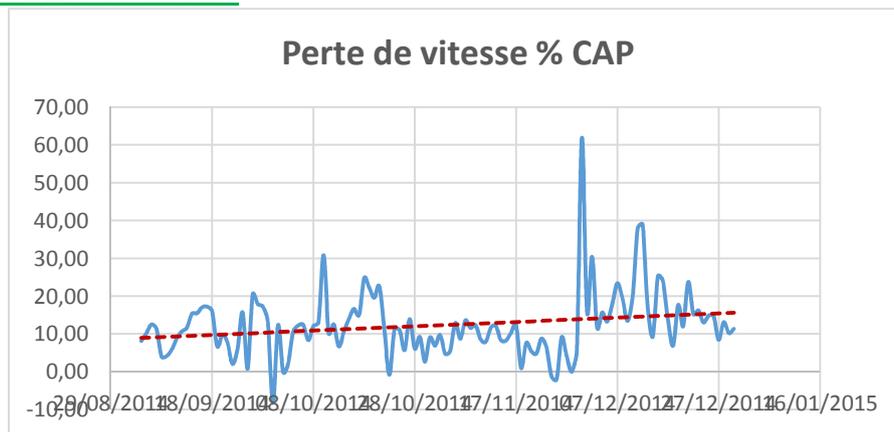


- TRG :



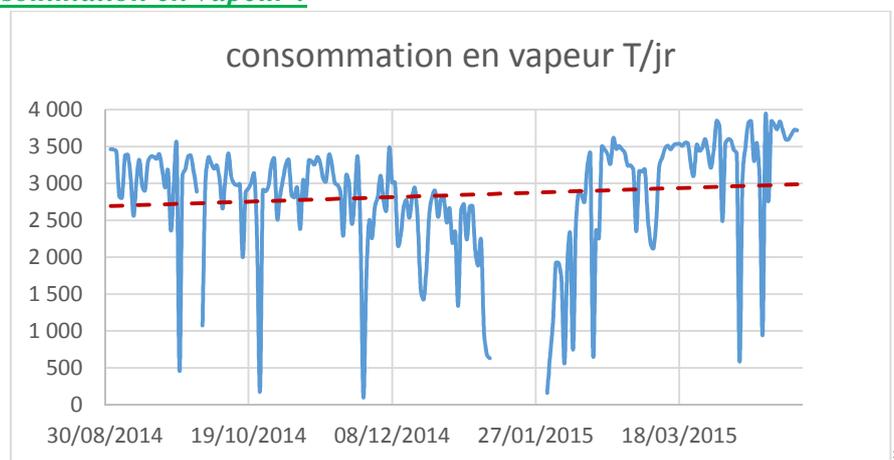
On constate une diminution du TRG de la section attaque-filtration (103A+B) et de la section concentration (CAP) après l'utilisation de la pulpe, ce qui est interprété par une mauvaise production en termes de qualité et de temps.

▪ Perte TRG de vitesse :



Au contraire du TRG, les pertes de vitesse de la section concentration (CAP) ont augmenté après l'utilisation de la pulpe, ce qui est interprété par la mauvaise production et la perte du temps dans les arrêts non programmés.

▪ Consommation en vapeur :



On constate que la consommation en vapeur ne cesse pas d'augmenter après l'utilisation de la pulpe. Une massive quantité de la vapeur est consommée dans la section de concentration de l'acide 29%, c'est la raison pour laquelle on va étudier et diagnostiquer la section CAP dans ce qui suit pour distinguer ce qui a changé après l'utilisation de la pulpe et ce qui a causé cette augmentation de consommation en vapeur.

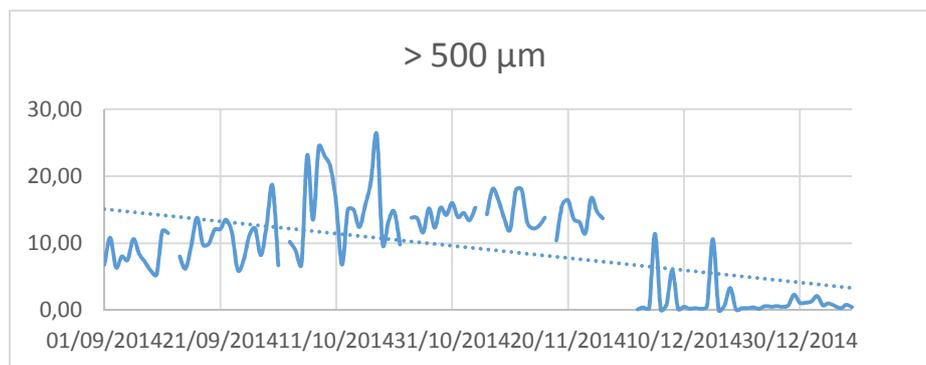
II. COMPARAISON ENTRE LA QUALITE DU PHOSPHATE SEC ET LA QUALITE DE LA PULPE

La marche de l'atelier phosphorique est conditionnée par la composition chimique du phosphate. En effet tout changement de la qualité du phosphate influe sur la cristallisation du sulfate de calcium, la filtrabilité, la qualité de l'acide produit...

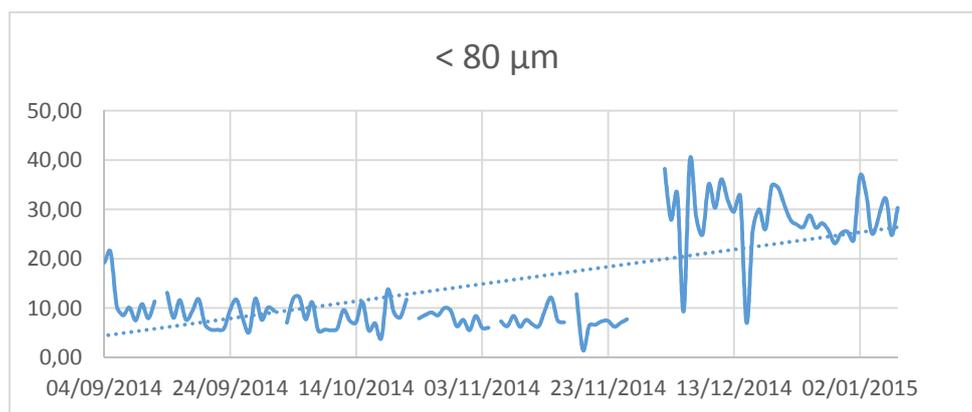
La substitution du phosphate sec par la pulpe a affecté négativement les performances de la production d'acide phosphorique. Dans cette partie on va établir les états des lieux de quelques paramètres physico-chimiques du phosphate avant et après utilisation de la pulpe afin de déceler les éléments qui ont des effets défavorables sur la production d'acide phosphorique.

▪ Etat des lieux de la Granulométrie du phosphate :

• Particules au-delà de 500 μm :



• Particules inférieur à 80 μm :



Interprétation :

Ce changement brutal de la granulométrie est dû au broyage fin du phosphate à la station de l'adaptation de Khouribga pour qu'il soit transportable dans le pipeline.

On remarque que le pourcentage des grains supérieurs à 500 μm a diminué ce qui est avantageux pour les pertes inattaqués. Par contre les fines ont augmenté ce qui est défavorable pour les pertes syncristallisés.

Après l'utilisation de la pulpe on a constaté le changement ascendant et descendant des différents paramètres. Ces changements sont dus soit au changement de la source d'extraction du phosphate soit au traitement (lavage, broyage, flottation) que subisse le phosphate à la station de Khouribga pour qu'il soit transportable dans le pipeline.

En effet, le changement de la qualité du phosphate a perturbé les paramètres de marche de la production d'acide phosphorique ce qui argumente évidemment la chute des performances de production.

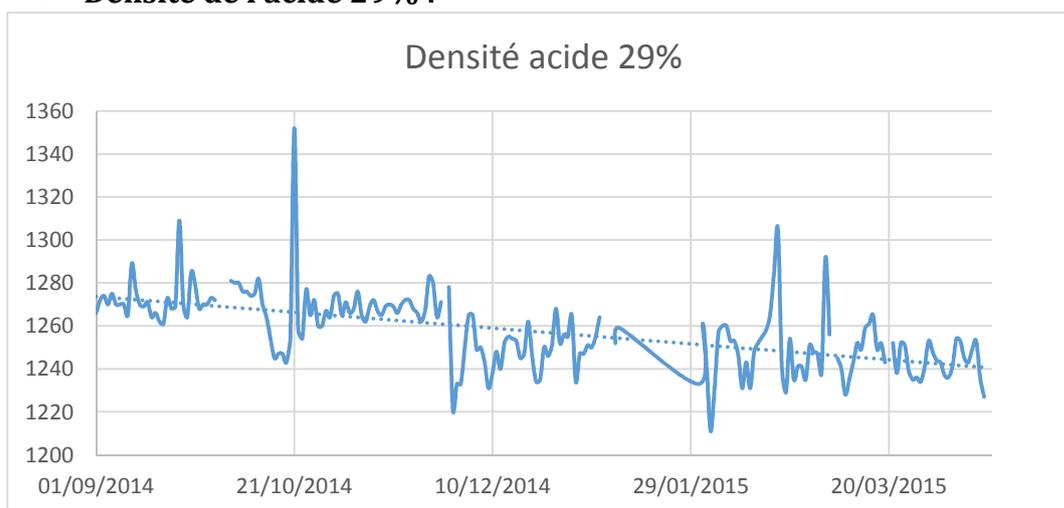
III. DIAGNOSTIC ET ANALYSE DE PERFORMANCE DE LA SECTION DE CONCENTRATION :

La bonne marche de la section CAP dépend essentiellement de la teneur en P_2O_5 de l'acide 29%. Cette section constitue la dernière étape du procédé de fabrication de l'acide phosphorique, c'est là où la teneur en P_2O_5 doit être ajustée pour atteindre la teneur souhaitée.

Pour ce fait, on va diagnostiquer et analyser les entrées et les sorties de la section CAP, pour voir l'influence de la pulpe sur cette étape du procédé.

Les caractéristiques de l'acide 29% entrant à l'échelon :

Densité de l'acide 29% :



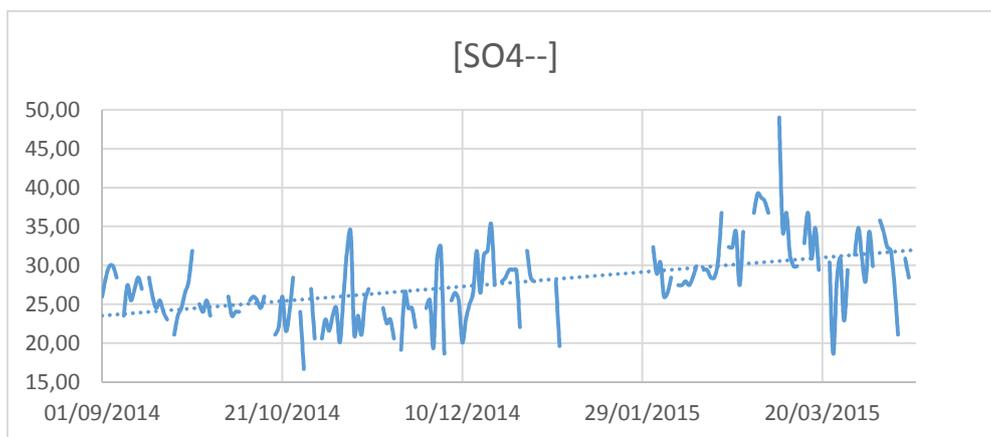
Interprétation :

On remarque une diminution de la densité d'acide 29% durant ces derniers mois expliqué :

- Soit par l'augmentation des pertes syncristallisés et inattaqués.
- Soit la taille et la forme des cristaux ne permettent pas le passage des P_2O_5 (mauvaise cristallisation).

D'où on obtient un acide 29% dilué ayant une faible teneur en P_2O_5 .

- **Concentration des sulfates libres dans l'acide 29% :**

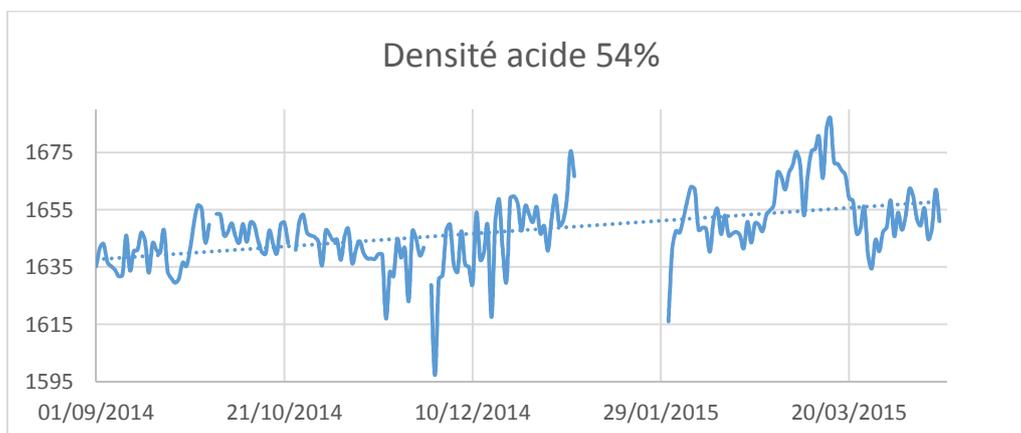


Interprétation :

On remarque une augmentation de la concentration en sulfates libres dans l'acide 29%, ce qui n'est pas avantageux pour la qualité de l'acide, parce que la densité de l'acide sulfurique est proche de celle de l'acide phosphorique, ce qui va donner une mauvaise évaluation de la qualité de l'acide 29%.

- **Les caractéristiques de l'acide 54% sortant de l'échelon :**

- **Densité de l'acide 54% :**





Interprétation :

On constate une augmentation de la densité de l'acide 54% due soit :

- A l'augmentation de la concentration en sulfates libres dans l'acide.
- A l'augmentation de la quantité d'eau évaporée lors de la concentration.

CONCLUSION :

Dans un premier temps on a évalué les indicateurs de performances en établant l'état des lieux de chacun, pour pouvoir situer l'état de la production et voir l'influence de la substitution du phosphate sec par la pulpe. A ce stade on a pu constater une chute de performances de production après l'utilisation de la pulpe.

Ensuite on a fait une comparaison entre les analyses physico-chimique du phosphate sec et celles de la pulpe afin de distinguer les paramètres qui ont changé et qui ont influencé les performances de production. Ici on a pu comprendre que le changement de la nature physico chimique du phosphate était la cause principale de la chute des performances de production.

Enfin, on a établi un diagnostic pour la section CAP et on a constaté la diminution de la densité et le titre P_2O_5 de l'acide 29% qui sont dues au changement de la qualité du phosphate, ainsi que l'augmentation de la concentration des sulfates libres dans l'acide 29% et qui a un effet négatif sur la qualité de l'acide 54%.



Partie 5 :

Améliorations de performances de CAP

INTRODUCTION

Au contraire de la section attaque-filtration, la section CAP consiste en une simple évaporation de l'eau pour concentrer l'acide 29%, ce qui ne fait pas intervenir beaucoup de paramètres de contrôle. Le présent chapitre est consacré pour améliorer les performances de la section CAP, alors que ces performances sont tributaires de la qualité de l'acide 29%. Le seul point dont on peut agir pour améliorer les performances CAP, c'est la consommation en vapeur.

Pour ce fait on a réalisé une application sur Excel qui calcul de débit de vapeur nécessaire pour évaporer une quantité d'eau bien déterminée afin d'atteindre le titre P_2O_5 d'acide 54% souhaité.

La dernière partie de ce chapitre est réservé pour un plan d'actions afin de remédier aux défaillances détectées au niveau de la section CAP.

I-BILANS DE LA SECTION DE CONCENTRATION ACIDE PHOSPHORIQUE :

Le bilan autour de la section Concentration a pour but de déterminer la consommation spécifique en vapeur par tonne de P_2O_5 , car on ne dispose pas d'un débitmètre de vapeur pour chaque échelon.

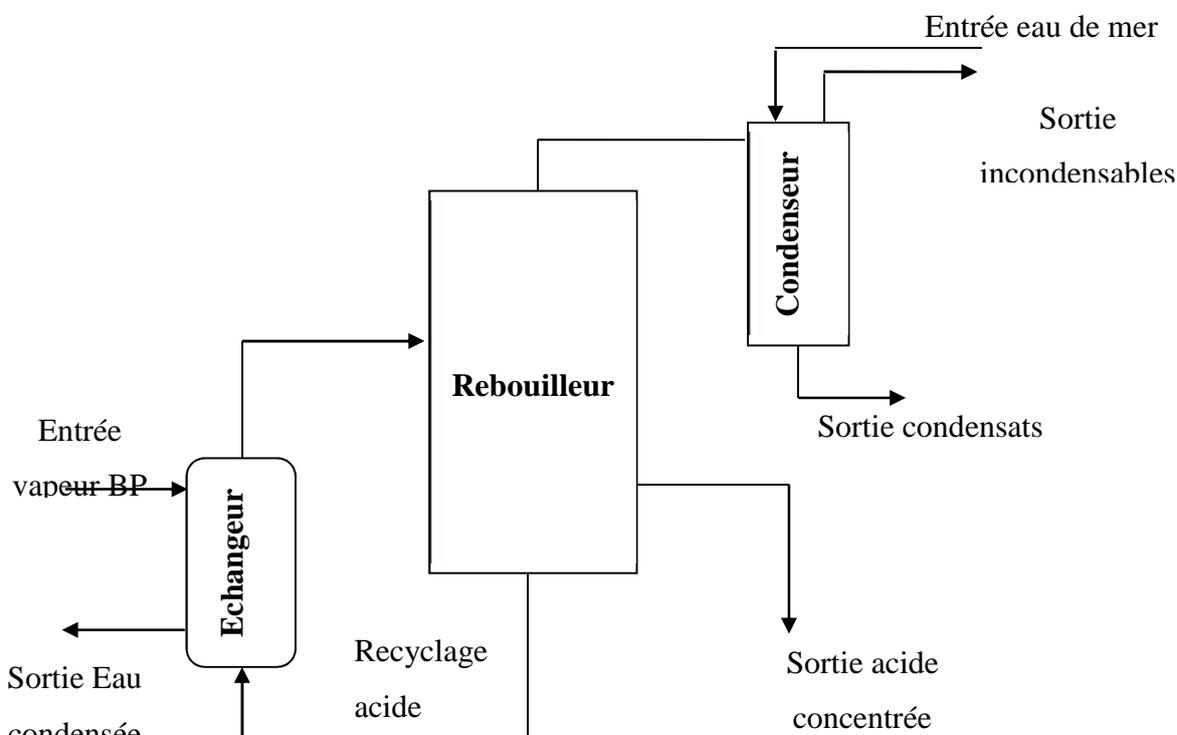


Figure 8 : schéma des entrées et sorties d'un échelon

Calcul du débit de la vapeur basse pression :

Pour calculer la quantité de vapeur basse pression utilisée dans l'échangeur, on effectue un bilan thermique :

$$Q_{\text{vapeur BP}} * \Delta H_{\text{vapeur BP}} = \text{débit acide 54\%} * x * (\text{Enthalpie acide sortie échangeur} - \text{Enthalpie acide entrée échangeur})$$

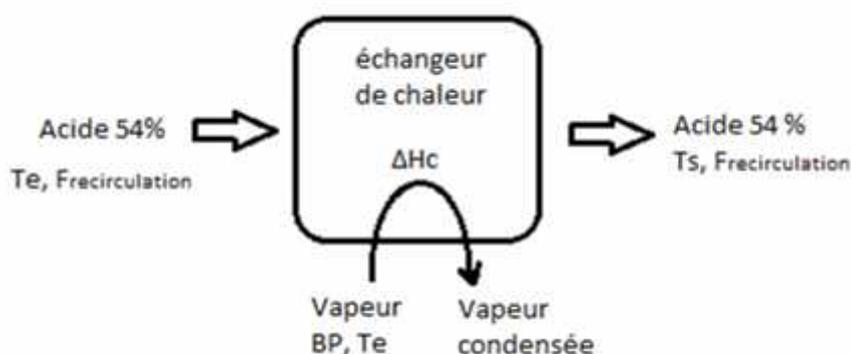
Avec :

X : est un coefficient de sécurité prenant en compte l'encrassement de l'échangeur.

On prend $x = 1,25$.

En effet, la vaporisation de l'eau dans le bouilleur se fait en 2 étapes :

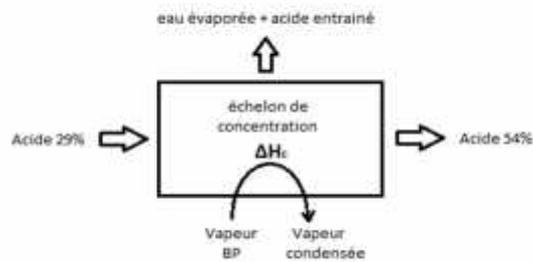
- Chauffage de l'acide 54% par échange de chaleur avec la vapeur BP, pour que l'acide atteigne une température aux alentours de 80°C



- Pression sous vide dans le bouilleur pour pouvoir évaporer l'eau à 70°C.

L'acide dans le bouilleur garde presque la même température (70°C), donc la quantité de chaleur retenue à chaque fois par l'acide 54 % par son échange avec la vapeur, est prise par l'eau évaporée.

Pour cela on va considérer l'échelon comme suit



D'où :

$$Q_{\text{eau.evap}} * L_v * x = Q_{\text{vapeur}} * H_c$$

$$Q_{\text{vapeur}} = \frac{Q_{\text{eau.evap}} * L_v * x}{\Delta H_c} \quad (1)$$

Avec :

Q_{vapeur} , $Q_{\text{eau.evap}}$: respectivement le débit de vapeur nécessaire et le débit d'eau à évaporer dans le bouilleur

L_v , H_c : respectivement la chaleur latente de vaporisation de l'eau dans le bouilleur et la chaleur latente de condensation de la vapeur dans l'échangeur.

Calcul de débit d'eau à évaporer :

Bilan de matière global :

$$Q_{29\%} = Q_{54\%} + Q_{\text{eau.evap}} + Q_{\text{acide entraîné}}$$

$$Q_{\text{eau.evap}} = Q_{29\%} - Q_{54\%} - Q_{\text{acide entraîné}} \quad (2)$$

Bilan de matière partiel/ P_2O_5 :

$$Q_{\text{acide entraîné}} = Q_{29\%} * X_{29} - Q_{54\%} * X_{54} \quad (3)$$

Avec :

$Q_{29\%}$, $Q_{54\%}$: Débit d'acide 29%, débit d'acide 54%

$Q_{\text{acide entraîné}}$: Débit d'acide entraîné avec la vapeur d'eau

X_{29} , X_{54} : Titre de P_2O_5 dans l'acide 29% et l'acide 54% respectivement

Connaissant le débit d'acide 54% et le débit d'acide 29%, on peut à calculer le débit d'acide entraîné (3), qui va servir à calculer le débit d'eau à évaporée (2), pour finalement pouvoir

calculer le débit de vapeur nécessaire (1), pour concentrer l'acide 29% d'un titre de P2O5 donné X_{29} au titre souhaité X_{54} .

II-VERIFICATION DES BILANS DE LA SECTION CAP :

En utilisant l'historique des paramètres : $Q_{29\%}$, $Q_{54\%}$, X_{29} et X_{54} , on a pu calculer respectivement : $Q_{acide\ entrainé}$, $Q_{eau, evap}$, Q_{vapeur} et le débit de vapeur nécessaire en cas d'encrassement.

On a trouvé certaines valeurs de débit d'acide entraîné négatives ce qui nous ramène à soupçonner :

- Les débitmètres de l'acide 29 et 54
- Densimètres de l'acide 29 et 54
- L'analyse des titres X_{29} et X_{54}

D'où la nécessité du nettoyage et d'étalonnage réguliers des appareils de mesure.

Toutefois on a réalisé une sorte d'application sur Excel :

ENTREE		Paramètres calculés		SORTIE		
	débit 29% m3/h	50	débit 54% m3/h	16,0	Acide, entraîné T/h	2
bouilleur	Densité 29 kg/m3	1261	X_{29}	25,50	Eau, evap T/h	32
	SO4 (g/l)	32,34				
	T.S %	1,54				
	T °C	69	L_v kJ/kg	2398	Vapeur T/h	52
	P torr	70				
Vapeur BP	T °C	120	C_{H_2O} kJ/kg	2200		
	P bar	2				
Acide produit	Densité 54 kg/m3	1646	X_{54} souhaité	52,50		

Cette application permet de calculer :

- Le débit 54% à partir du débit 29 (par régression linéaire)
- Titre X_{29} à partir de sa densité, la concentration en SO_4^{2-} et le Taux de solides (par RLM).
- Densité d'acide 54% à partir du titre X_{54} souhaité et la concentration en SO_4^{2-} d'acide 29% (par RLM).
- L_v à partir de T et P dans le bouilleur
- ΔH_c à partir de T et P de la vapeur BP

Maintenant, moyennant les bilans effectués précédemment, on peut calculer :

- $Q_{acide, entrainé}$
- $Q_{eau, evap}$
- Q_{vapeur}



L'utilisation de cette application va permettre d'optimiser la consommation en vapeur dans l'échelon, cette optimisation ne peut avoir lieu qu'après installation d'un débitmètre de vapeur à l'entrée de chaque échelon.

III-PLAN D' ACTIONS PROPOSE POUR AMELIORER LA SECTION

CAP :

Le tableau ci-dessous représente les anomalies détectées au niveau de la section CAP et les actions proposés pour améliorer les performances de cette section.

Anomalie	Emplacement	Action proposé	Objectifs de l'action
La teneur en P_2O_5 d'un acide est estimée par sa densité.	Laboratoire local	Installer un appareil ou mettre en place	<ul style="list-style-type: none">- Connaître des valeurs précises de teneur en P_2O_5 de l'acide 29% et 54%.- Se baser sur une teneur de P_2O_5 précise pour déterminer la quantité de vapeur nécessaire à évaporer l'eau dans l'acide 29%
L'instabilité de la quantité d'acide entraîné avec l'eau évaporée	La sortie du bouilleur	une méthode d'analyse de P_2O_5 .	<ul style="list-style-type: none">- connaître la teneur en P_2O_5 dans l'eau de mer afin de pouvoir agir sur les conditions (T, P) du bouilleur dans le but minimiser le P_2O_5 évaporé (la température d'ébullition de l'acide phosphorique est supérieur à celle de l'eau).
La vapeur entrante aux échelons n'est pas quantifiée	L'entrée de chaque échelon	Installer un débitmètre de vapeur.	<ul style="list-style-type: none">- quantifier la vapeur entrante afin de pouvoir contrôler le titre X_{54} souhaité de l'acide concentré sortant de l'échelon.- Savoir s'il y a une fuite de vapeur.
Encrassement régulier de l'échangeur et de l'échelon	Les tubes de l'échangeur	Mettre en place un filtre juste avant l'entrée de l'acide 29% dans l'échelon.	<ul style="list-style-type: none">- Diminuer le taux de solide de l'acide 29% ce qui va élargir le temps d'encrassement de l'échangeur spécifiquement et l'échelon en général.



Valeurs erronées des paramètres de contrôles	Les appareils de mesure (T, P, débitmètre, densité, ...etc.)	Nettoyage régulier et étalonnage des appareils de mesure	- Ne pas avoir un déclenchement ou un arrêt d'un équipement à cause d'une valeur erronée d'un paramètre donné.
--	--	--	--

CONCLUSION

L'étude faite dans ce chapitre a dévoilée plusieurs défaillances au niveau de la section CAP, ces derniers doivent être pris en charge par des ajustements préventifs et correctifs dans le but d'améliorer ses performances.

Conclusion générale

Ce stage avait pour but de nous apporter une expérience professionnelle réelle en milieu industriel. En effectuant ce stage, on a pu avoir une idée détaillée sur le monde de travail sous tous ses aspects et cela nous a apporté une nouvelle vision de l'entreprise, tant au niveau de son organisation qu'au niveau humain.

La présente étude nous a sensibilisés sur l'importance de respecter les opérations unitaires pour fabriquer un produit chimique, respectant les normes exigées par les clients. L'échelon est un équipement stratégique dans la production de l'acide phosphorique. Il permet d'augmenter la concentration de l'acide 29%, en s'adaptant aux nouveaux paramètres de marche.

Pour conclure, il est de bon sens de confirmer que le stage est désormais un acte concret non négociable et en plus il s'agit d'une opportunité si importante pour qu'un étudiant soit capable et apte de confirmer et comparer ses acquis théoriques avec les éléments et les exigences de la vie active.

Bibliographie

- [1] [www.wikipedia.com/ le Slurry pipeline.](http://www.wikipedia.com/le%20Slurry%20pipeline)
- [2] [Rapport final /.](#)
- [3] Prayon (bureau d'étude d'OCP-IMACID).
- [4] [www.wikipedia.com/office chérifien de phosphate.](http://www.wikipedia.com/office%20ch%C3%A9rifien%20de%20phosphate)
- [5] [www.wikipedia.com/presentation d'IMACID.](http://www.wikipedia.com/presentation%20d%27IMACID)