



Licence Sciences et Techniques (LST)

# GENIE CHIMIQUE

## PROJET DE FIN D'ETUDES

### Analyse des causes de dégradation des refroidisseurs tubulaires d'une ligne sulfurique à l'OCP

Présenté par :

◆ EL BAKKALI WADIE

Encadré par :

- ◆ Mr ED-DERFOULI (OCP)
- ◆ Pr BOUAYAD ABDESSALAM (FST)

**Soutenu Le 13 Juin 2012 devant le jury composé de:**

- Pr BOUAYAD ABDESSALAM
- Pr SQALLI OUAFAE
- Pr BOUAYAD ABDELOUAHED

**Stage effectué à L'Office Chérifienne des Phosphates (l'OCP)**

**Année Universitaire 2011 / 2012**

# Sommaire

INTRODUCTION.....	1
PRESENTATION DE LA SOCIETE D'ACCUEIL.....	2
Présentation du groupe O.C.P .....	3
<b>L'OCP DE Safi .....</b>	<b>4</b>
Description du procédé de fabrication d'acide sulfurique .....	5
I. ....	D
Description générale du procédé de fabrication de l'acide sulfurique.....	6
A. ....	C
Combustion .....	6
B.....	C
Conversion .....	6
C.....	A
Absorption.....	6
II. ....	D
Description du procédé de la ligne H .....	7
A. ....	C
Circuit gaz .....	7
B.....	C
Circuit acide HRS .....	9
C.....	C
Circuit acide 98.5% .....	10
Description de système de refroidissement.....	12
I. ....	N
Notion théorique .....	13



1).....	D
définition .....	13
2).....	M
ode de transfert .....	13
3).....	Q
uelques exemples des échangeurs thermiques .....	13
4).....	Q
uelques éléments rentrant dans la marche de refroidisseur.....	17
II. ....	L
'état de lieu (la situation actuelle).....	17
1).....	D
escription du système pour les procédés d'acide .....	17
2).....	M
ise en situation du problème.....	19
3).....	E
tude générale primaire.....	20
4).....	P
hase d'analyse.....	23
<b>Suggestions .....</b>	<b>27</b>
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>28</b>

# INTRODUCTION

Face au grand besoin et à la grande importance d'acide sulfurique, la ligne 01H (unité de production d'acide sulfurique par double absorption) doit assurer une bonne qualité et un débit d'acide sulfurique important malgré les difficultés liées aux différents problèmes de production, dans le but de satisfaire les besoins de client Maroc Phosphore 1.

Et parmi ces problèmes, on trouve la dégradation des refroidisseurs par plusieurs facteurs. Cette étude est réalisée dans le but de:

1. Elaborer une analyse des causes de dégradation des refroidisseurs tubulaires de cette ligne sulfurique.
2. Proposer des actions nécessaires pour prévenir une dégradation prématurée de ces équipements.



# *Présentation de la société d'accueil*



## Présentation du groupe O.C.P

Le phosphate, principale ressource minière du Maroc, confère à notre pays la troisième place dans la production du phosphate après la Russie et l'U.S.A, ceci grâce à l'étendue des gisements et l'importance des tonnages extraits.

La principale utilisation du phosphate est la production des engrais et d'acide phosphorique. Le Maroc exporte actuellement, le phosphate brut, les engrais ou  $P_2O_5$  sous forme des produits (acide phosphorique clarifié, super phosphate, ammonium simple et divers produits pharmaceutiques ou autre).

Créé en 1920, le groupe OCP détient le monopole de la recherche, de l'exploitation et de la commercialisation des phosphates au Maroc.

Il s'agit d'un établissement public à caractère industriel et commercial, il est aussi doté d'un organisme lui permettant d'agir avec la même dynamique et la même souplesse qu'une entreprise privée.

**L'OCP** : Office chérifienne des phosphates est la première entreprise au Maroc qui a des échanges commerciaux de haut niveau avec l'étranger. Elle représente 25% des exportations du Maroc et réalise 7 à 8% du produit national brut. Grâce à l'OCP l'industrie du phosphate a connu depuis 1965 un progrès considérable réalisant la production de 100 millions de tonnes de phosphate en l'année 2000.

## L'OCP DE SAFI

La direction des industries chimiques de Safi « DIS » comprend quatre divisions.

- ◆ Maroc Chimie (MC), créée en 1965.
- ◆ Maroc Phosphore I (MPI), Créée en 1976.
- ◆ Maroc Phosphore II (MPIO), Créée en 1981.
- ◆ Infrastructure de Safi (IS).

Les unités MC et MPI produisent l'acide sulfurique comme produit intermédiaire, l'acide phosphorique et les engrais comme produits finis.

L'unité MPIO produit aussi l'acide sulfurique comme produit intermédiaire, mais produit seulement l'acide phosphorique comme produit fini.

**MPIO** : Ce complexe utilise le phosphate de Youssefia et le soufre importé pour la production d'acide sulfurique, l'usine est constituée d'un :

- ◆ Atelier de fusion de soufre.
- ◆ Atelier de production d'acide sulfurique.
- ◆ Atelier d'énergie et fluides.
- ◆ Atelier de production d'acide phosphorique.
- ◆ Atelier de production d'engrais MAP.
- ◆ Une Installation de stockage d'acide phosphorique.

*Description du procédé  
de fabrication de l'acide  
sulfurique*



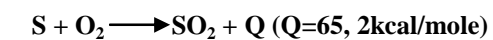
## I. Description générale du procédé de fabrication de l'acide sulfurique

La production de l'acide sulfurique à partir du soufre au sein du groupe OCP met en évidence trois étapes sont la combustion, la conversion et l'absorption

### A. Combustion

Les réactions de combustion sont très exothermiques, ce qui fait que cette énergie est récupérée afin de produire la vapeur HP.

La réaction de combustion s'établit comme suit :



### B. Conversion

La réaction de conversion (transformation du  $\text{SO}_2$  en  $\text{SO}_3$ ) fait appel à un catalyseur à base de pentoxyde de vanadium  $\text{V}_2\text{O}_5$ , cette réaction catalytique obéit aux lois thermodynamiques pour avoir un taux de conversion maximal. Le paramètre "température" est une importance capitale lors du déroulement de cette réaction, à l'échelle industrielle, la transformation relative de la totalité de  $\text{SO}_2$  en  $\text{SO}_3$  impose des réacteurs multi étages (4 couches dans le procédé MPI).

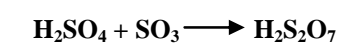
La réaction de conversion s'établit comme suit :



### C. Absorption

La réaction d'absorption consiste à hydrater l'anhydride sulfurique  $\text{SO}_3$ , pour cela on utilise l'acide sulfurique à 98,5%.

La réaction d'absorption s'établit comme suit :



On constate que le soufre, l'air et l'eau constituent les matières premières pour la production de l'acide sulfurique, ces matières sont traitées dans différentes unités au niveau de MPI afin de satisfaire aux besoins spécifiques des unités sulfuriques.

## II. Description du procédé de la ligne H

La production de l'acide sulfurique au niveau de MAROC PHOSPHORE I est renforcée par la construction de la ligne H, ligne double absorption avec système de récupération de chaleur HRS, de capacité de 3410 T/J d'acide sulfurique avec une production importante de vapeur HP et BP.

### A. Circuit du gaz

La 1<sup>ère</sup> étape dans la production de l'acide sulfurique a lieu au four à soufre. Les matières premières, entrant en jeu pour cette étape, sont l'air et le soufre. L'air est aspiré par la turbosoufflante, passe à travers le filtre à air afin d'éliminer les impuretés puis à travers la tour de séchage pour éliminer l'humidité pouvant causer des dommages aux équipements situés en aval (corrosion par gaz humides), et passe par la turbosoufflante qui le refoule vers le four à soufre où a aussi lieu l'injection du soufre à travers les 6 brûleurs présents dans la façade du four. La réaction de combustion est très exothermique donc les gaz sortant du four passent à travers 2 chaudières à tubes de fumée afin de récupérer de l'énergie et la transmettre au circuit énergétique pour la production de la vapeur HP. La vanne à la sortie des chaudières (HV621) et celle au by-pass (HV602) assurent le réglage de la température des gaz se dirigeant vers la 1<sup>ère</sup> masse du convertisseur.

Les gaz quittant les chaudières HP peuvent contenir des imbrulées ou des cendres pouvant causer des dommages au convertisseur, donc il est nécessaire de les faire passer par un filtre à gaz chaud afin d'éliminer ces impuretés. Ce filtre est divisé en 2 étages afin d'augmenter la surface de filtration et évite l'encrassement rapide du filtre.

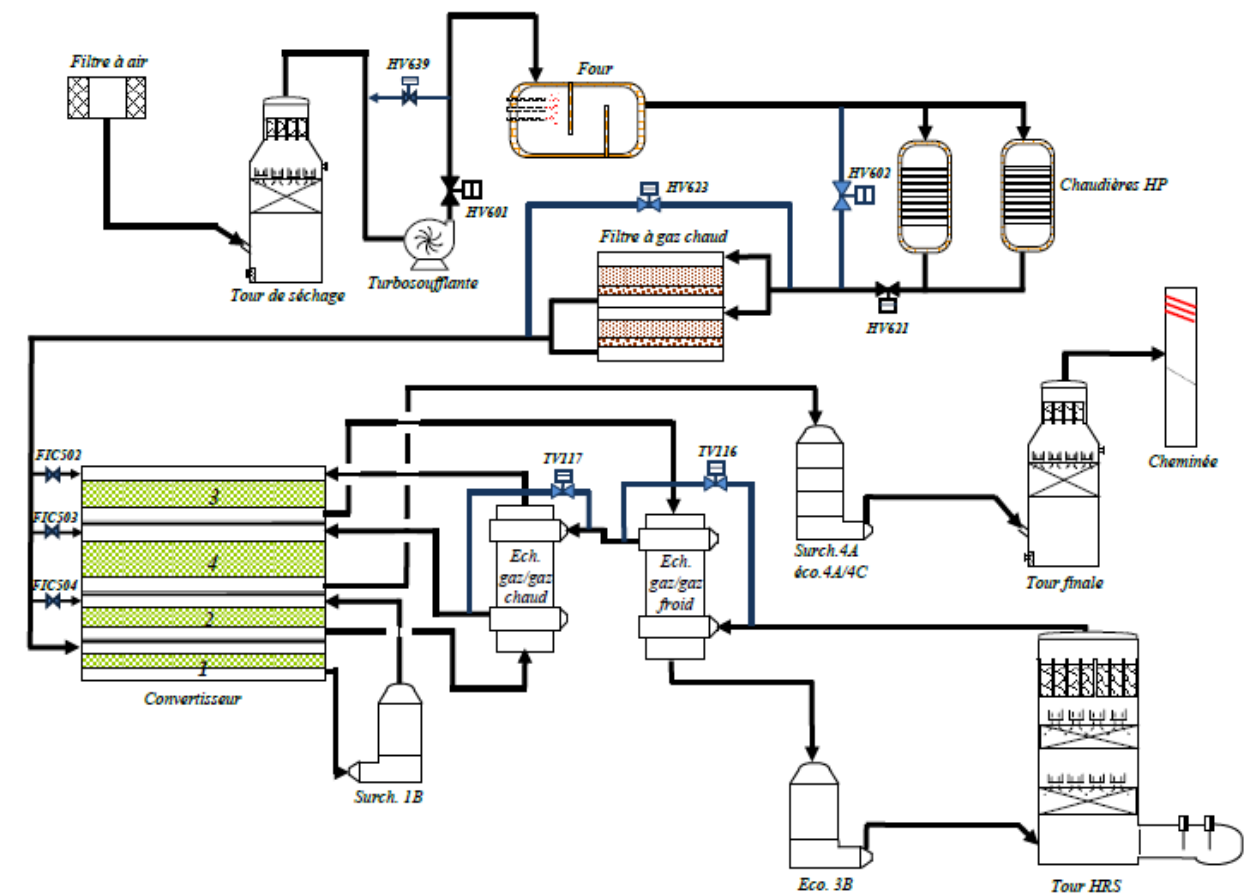
Après le filtre à gaz chaud vient la 2<sup>ème</sup> étape de la production de l'acide sulfurique, c'est la conversion qui se fait dans un convertisseur à 4 étages. Les températures des gaz dans les couches doivent varier entre **423°C** et **630°C** selon les spécifications du catalyseur. Les gaz provenant du filtre à gaz chaud entrent dans la 1<sup>ère</sup> masse avec une température de **423°C** et y sortent avec une température de **621°C**, il est nécessaire de les faire refroidir avant qu'ils entrent dans la 2<sup>ème</sup> masse, donc ils passent à travers le surchauffeur **1B** qui constitue la dernière étape de la production de la vapeur HP, l'échange de la chaleur entre les gaz et la vapeur fait diminuer la température des gaz à **440°C** (température d'entrée de la 2<sup>ème</sup> masse), le réglage de cette température se fait par la vanne TV147B (by-pass du surchauffeur 1B côté vapeur), après le surchauffeur 1B, les gaz sont acheminés vers la 2<sup>ème</sup> masse, à la sortie de la 2<sup>ème</sup> masse, la température est **522°C**, donc il faut les refroidir. Ils passent à travers l'échangeur gaz/gaz chaud côté tubes ou l'échange cette fois-ci à lieu avec les gaz revenant de la tour HRS et passant par l'échangeur gaz/gaz froid, la température à la sortie de l'échangeur gaz/gaz chaud est **440°C**, le

réglage de cette dernière se fait par la vanne TV117 (by-pass de l'échangeur gaz/gaz chaud côté calandre). Puis les gaz se dirigent vers la 3<sup>ème</sup> masse, après la sortie, a lieu l'absorption dans la tour HRS, mais avant d'entrer dans cette tour, la température qui est de **464°C** doit être diminuée, donc les gaz passent à travers un échangeur gaz/gaz froid où l'échange qui se fait avec les gaz sortant de la tour HRS, fait abaisser la température à **276°C**, puis passent à travers l'économiseur 3B afin d'abaisser la température à **166°C** en faisant l'échange avec l'eau alimentaire sortant de l'économiseur 4A. Le réglage de cette température se fait par la vanne manuelle by-pass de l'économiseur côté eau.

Après l'économiseur 3B, vient la 3<sup>ème</sup> étape de la production de l'acide sulfurique, c'est l'absorption, mais dans ce cas, c'est une absorption intermédiaire qui se fait dans la tour HRS, les gaz ascendant rencontre l'acide descendant, ce dernier, s'écoulant du 1<sup>er</sup> étage de la tour HRS, à pour rôle d'absorber le **SO<sub>3</sub>** présent dans les gaz. L'acide s'écoulant du 2<sup>ème</sup> étage a pour rôle la récupération de la chaleur qui entre dans la production de la vapeur BP.

A la sortie de la tour HRS, la température des gaz est **71°C**, donc ils passent dans les côtés calandres des échangeurs gaz/gaz chaud est froid afin d'élever leur température à **425°C**, c'est la température d'entrée à la 4<sup>ème</sup> masse où à lieu la dernière conversion qui élève le taux de conversion à **99,7%**. Après cette dernière couche, les gaz se dirigent vers la tour finale, mais avant, ils passent à travers le block surchauffeur 4A/économiseurs4C/4A afin d'abaisser la température à **135°C**, qui est la température exigée à l'entrée de la tour d'absorption finale. Dans cette tour, le reste du **SO<sub>3</sub>** présent dans les gaz s'absorbe et les gaz sortant se dirigent vers la cheminée puis à l'atmosphère avec une constitution de **4%** en **O<sub>2</sub>** et **417ppm** en **SO<sub>2</sub>**.

Voici un schéma illustrant le circuit de gaz :



## Figure : schéma démonstratif du circuit du gaz

### B. Circuit acide HRS

Le bac adjacent loge deux pompes qui refoulent l'acide chaud (204°C) descendant du 1<sup>er</sup> et du 2<sup>ème</sup> étage vers la chaudière HRS, en faisant l'échange avec l'eau présente dans la chaudière de la vapeur BP est produite et l'acide est refroidit à 185°C, à la sortie de la chaudière HRS l'acide est envoyé vers les dilueurs afin de le diluer de 99,6% à 99%, mais avant les dilueurs une partie qui constitue la production du système HRS est envoyée vers le préchauffeur HRS puis vers le bac de pompage commun, l'acide dilué est envoyé vers le 1<sup>er</sup> étage, des analyseurs sont asservis avec des vannes afin de régler les débits d'eau de dilution des 2 dilueurs, quand au débit d'acide qui s'écoule du 2<sup>ème</sup> étage il a pour rôle la récupération de la chaleur des gaz quittant le 1<sup>er</sup> étage.

Voici un schéma illustrant le circuit d'acide HRS :

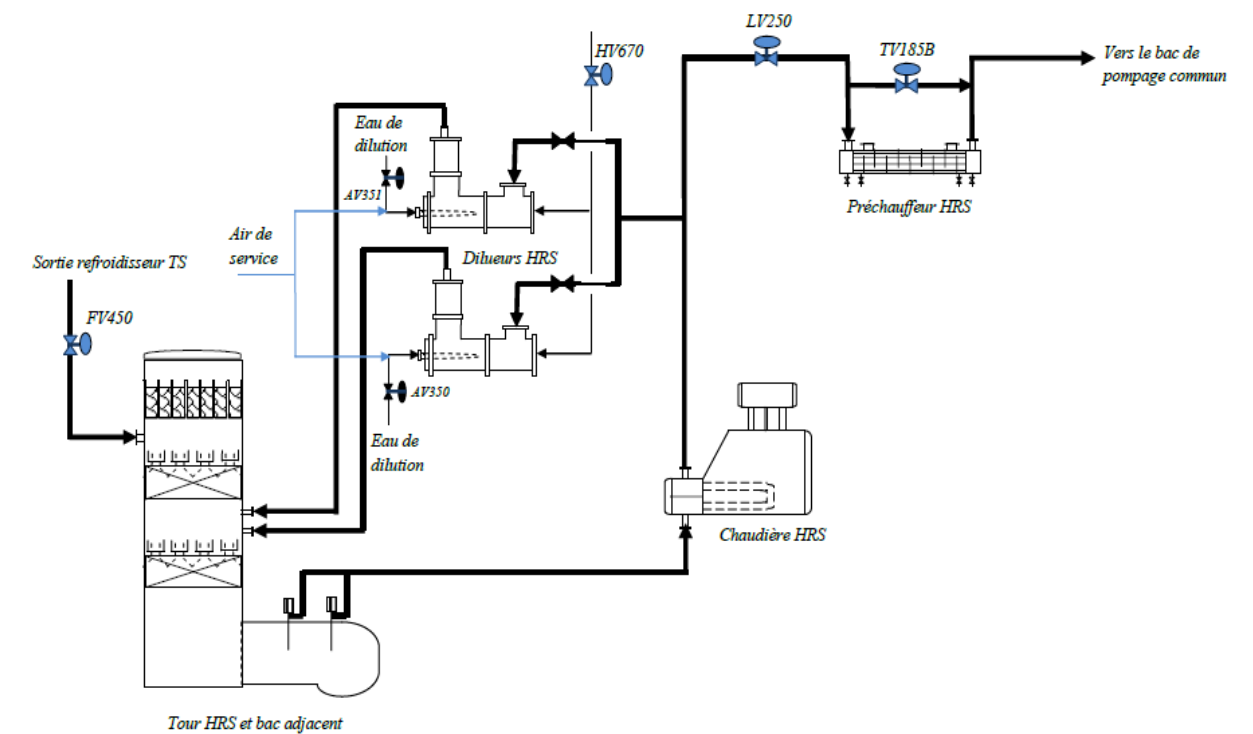


Figure : schéma du circuit d'acide HRS

### C. Circuit acide 98,5%

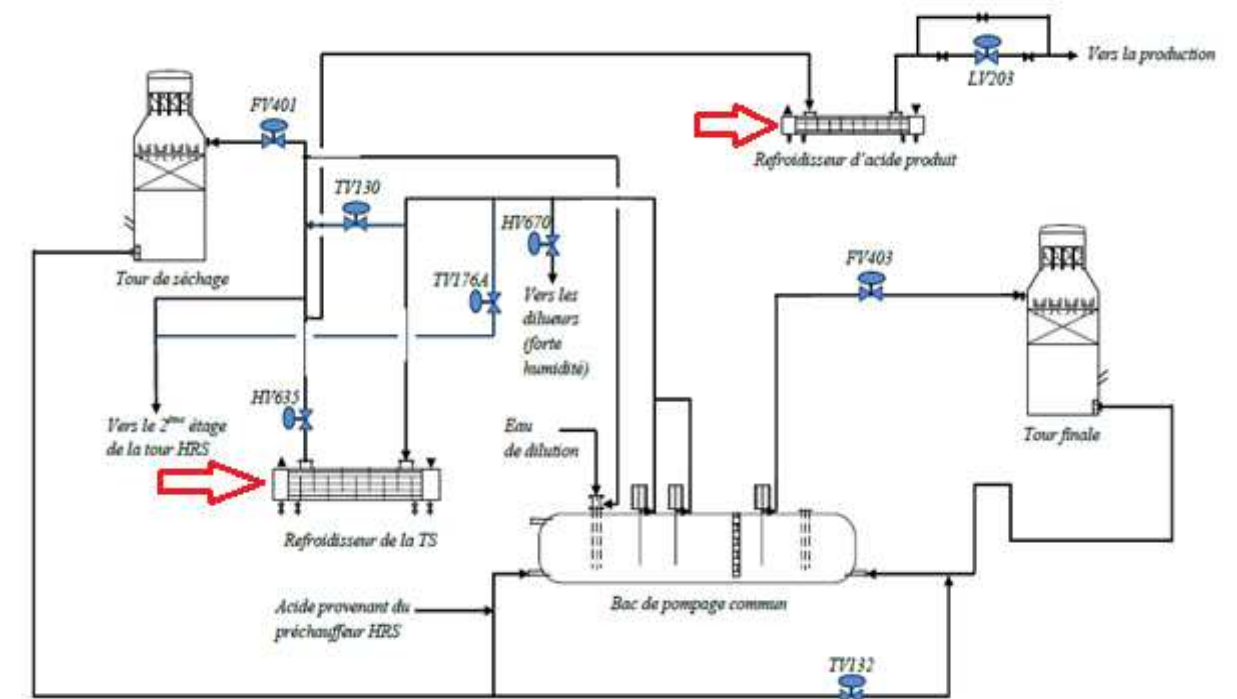
Le bac de pompage commun constitue une capacité suffisante pour tout l'acide circulant dans l'usine que ce soit vers la tour de séchage, la tour finale ou même la production HRS.

Le bac de pompage commun est divisé en deux chambres, la 1<sup>ère</sup> loge les pompes de la tour de séchage, quand à la 2<sup>ème</sup> elle loge la pompe de la tour finale. Les pompes de la tour de séchage refoulent l'acide à une température de 91°C cette température est supérieure à la température l'arrosage de la tour de séchage, donc il est nécessaire de faire passer l'acide par un refroidisseur, mais avant une partie est envoyée vers les dilueurs HRS en cas de forte humidité, une autre partie règle la température d'arrosage du 2<sup>ème</sup> étage de la tour HRS, et une 3<sup>ème</sup> partie règle

la température d'arrosage de la tour de séchage, dans le refroidisseur de la tour de séchage l'acide est refroidit en faisant l'échange thermique avec l'eau de mer (Co-courant), à la sortie du refroidisseur une partie de cet acide est envoyée vers le refroidisseur de production afin d'abaisser sa température de 60°C à 40°C puis est envoyé vers le bac de stockage, une autre partie est destinée à arroser le 2<sup>ème</sup> étage de la tour HRS, une 3<sup>ème</sup> partie est envoyé vers le bac afin de se mélanger avec l'eau de dilution, quand à la partie qui reste c'est l'acide d'arrosage de la tour se séchage. Le retour de la tour se séchage est envoyé vers le bac de pompage commun (compartiment de la tour de séchage, mais une partie de cet acide est envoyée vers le compartiment de la tour finale afin de régler de température d'arrosage de cette tour.

Le 2<sup>ème</sup> compartiment du bac, compartiment de la tour finale, loge une pompe qui assure le refoulement de l'acide vers la tour finale, cet acide à une température de 82°C déjà réglée par une vanne qui assure le mélange du retour d'acide de la tour finale (91°C) avec une partie de l'acide de retour de la tour de séchage (69°C).

Voici un schéma illustrant le circuit d'acide à 98,5% :



**Figure : schéma du circuit d'acide à 98,5%**

# *Description du système de refroidissement*

## I. Notions théorique

### 1. Définition

Un **échangeur de chaleur** est un dispositif permettant de transférer de l'énergie thermique d'un fluide vers un autre, sans les mélanger.

La plupart du temps, on utilise cette méthode pour **refroidir** ou **réchauffer** un liquide ou un gaz qu'il est impossible ou difficile de refroidir ou chauffer directement.

Remarque : Les systèmes de refroidissement sont des échangeurs thermiques (échangeurs de chaleur).

### 2. Mode de transfert

- **À courant co-courant** : les deux fluides sont disposés parallèlement et vont dans le même sens.
- **À contre courant** : les deux fluides sont disposés parallèlement, mais les courants vont dans des sens opposés.
- **À courant croisé** : les deux fluides sont positionnés perpendiculairement.
- **À tête d'épingle** : un des deux fluides fait un demi-tour dans un conduit plus large, que le deuxième fluide traverse

### 3. Quelques exemples des échangeurs thermiques

- **Echangeur à faisceau tubulaire horizontal**

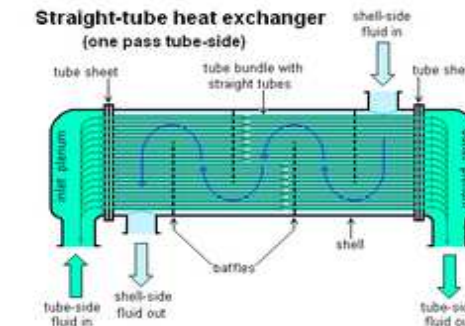


Schéma d'un échangeur tubulaire

Un schéma typique d'un échangeur tubes calandre (est présenté ci-contre. L'appareil est constitué d'un faisceau de tubes, disposés à l'intérieur d'une enveloppe dénommée calandre. L'un des fluides circule à l'intérieur des tubes et l'autre à l'intérieur de la calandre, autour des tubes. On ajoute en général des chicanes dans la calandre, qui jouent le rôle de promoteurs de turbulence et améliorent le transfert à l'extérieur des tubes.

À chaque extrémité du faisceau sont fixées des boîtes de distribution qui assurent la circulation du fluide à l'intérieur du faisceau en une ou plusieurs passes. La calandre est elle aussi munie de tubulures d'entrée et de sortie pour le second fluide (qui circule à l'extérieur des tubes) suivant le chemin imposé par les chicanes (voir figure).

Avantages	Inconvénients	Utilisation
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Résiste aux fortes pressions</li> <li>• Pour toutes les puissances</li> <li>• Economique</li> <li>• Accepte des grands écarts de température</li> <li>• Peut être utilisé en condensation partielle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contraintes sur les tubes</li> <li>• Difficulté de nettoyage (multitube)</li> <li>• Sensible aux vibrations</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eau/eau</li> <li>• Vapeur/eau</li> <li>• Huile/eau</li> <li>• Eau surchauffée/eau</li> </ul>

➤ **Echangeur à faisceau tubulaire vertical**

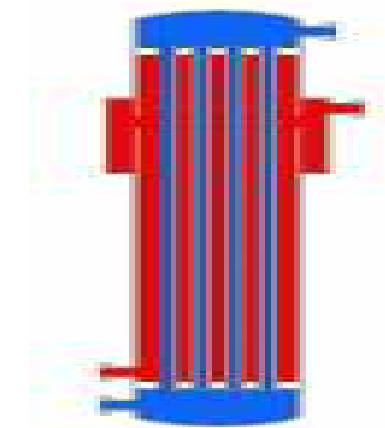


Schéma d'un échangeur tubulaire

Avantages	Inconvénients	Utilisation
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Faible encombrement</li> <li>• L'échangeur peut être plein de condensat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formation de poche d'air</li> <li>• Faible résistance à hautes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vapeur HP/eau</li> <li>• Eau surchauffée/eau</li> <li>• Fluide</li> </ul>



- Parfaitement adapté à l'échange vapeur haute pression/eau
- pressions
- thermique/eau
- Fumées/eau

➤ **Echangeur à tubes en U**

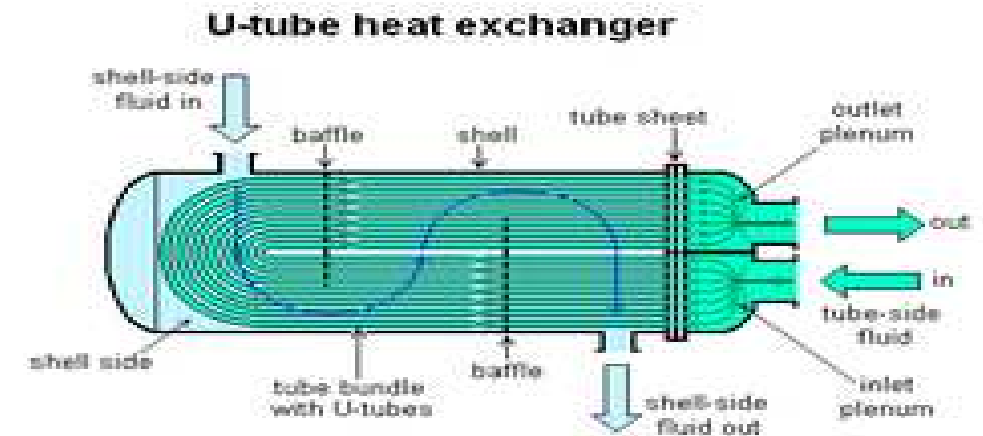


Schéma d'un échangeur à tubes en U

Avantages	Inconvénients	Utilisation
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Résiste aux fortes pressions</li> <li>• Libre dilatation des tubes et du corps</li> <li>• Toutes puissances</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Encombrement</li> <li>• Prix de revient élevé</li> <li>• Débouchage difficile</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vapeur/eau</li> <li>• Eau surchauffée/eau</li> <li>• Huile/eau</li> <li>• Process</li> </ul>

➤ **Echangeur à spirales**

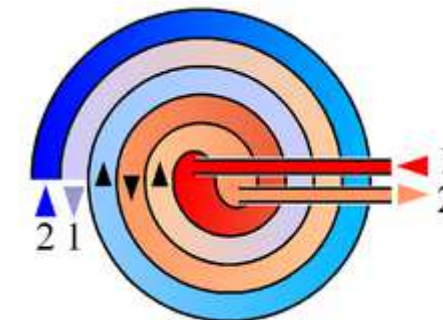


Schéma d'un échangeur à spirale

Un échangeur à spirales consiste en 2 plaques de métal enroulées de manière hélicoïdale pour former une paire de canaux en spirale. Le diamètre de l'échangeur est relativement grand, avec une surface d'échange maximale d'environ 185 m<sup>2</sup> pour un diamètre de 1,5 m, ce qui le place dans la catégorie des échangeurs non-compacts. L'échange de chaleur n'est pas aussi bon que celui de l'échangeur à plaques, car la surface d'échange ne possède pas en règle générale de profil, mais pour une même capacité d'échange, un échangeur spiral nécessite 20% de moins de surface d'échange qu'un échangeur à faisceau tubulaire.

Il est utilisable pour les liquides visqueux ou pour les mélanges liquide-solide et possède une capacité autonettoyante garantissant un encrassement réduit par rapport à l'échangeur à faisceau tubulaire. Il ne peut fonctionner qu'avec des différences de températures et de pression limitées.

Avantages	Inconvénients	Utilisation
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grande surface de contact</li> <li>• Large passage</li> <li>• Encombrement réduit</li> <li>• Excellent condenseur</li> <li>• Autonettoyant</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Non démontable</li> <li>• Ecart de T limités</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eau/eau</li> <li>• Vapeur/eau</li> <li>• Eau surchauffée/eau</li> </ul>

### ➤ Echangeur à plaques

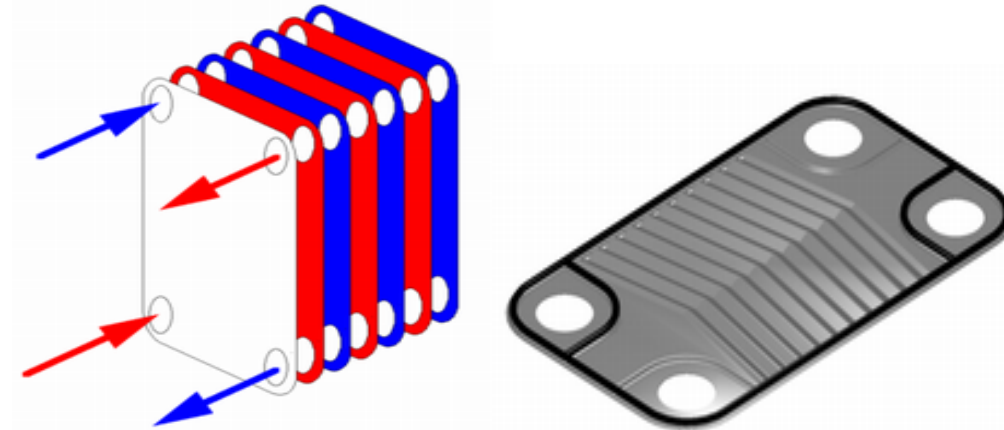


Schéma d'un échangeur à plaques

Une plaque avec un profil appelé Chevron

Un échangeur thermique à plaques est un échangeur constitué de plaques superposées en aluminium, en acier inoxydable ou en matériaux composites constituant deux vaines de fluide ou de gaz très fines séparant le flux chaud et le flux froid. La circulation croisée du gaz ou du fluide permet un échange de chaleur avec un bon rendement. L'avantage principal de ce type d'échangeur est la compacité. En effet, on voit bien que ce dispositif permet une grande surface d'échange dans un volume limité, ce qui est particulièrement utile lorsque des puissances importantes doivent être échangées. L'échangeur thermique à plaques est le plus répandu des échangeurs thermiques. Il s'utilise dans le chauffage, la climatisation, l'industrie alimentaire ( pasteurisation), l'industrie nucléaire liquide,... etc.

Avantages	Inconvénients	Utilisation
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compact</li> <li>• Très bons coefficients de transfert</li> <li>• Prix compétitifs</li> <li>• Peu de pertes thermiques</li> <li>• Modulable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Faible écart de T possible</li> <li>• Régulation</li> <li>• Perte de charge importante</li> <li>• Pression de travail limitée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vapeur BP/eau</li> <li>• Eau/eau</li> <li>• Huile/eau</li> <li>• Eau surchauffée/eau</li> </ul>

#### 4. Quelques éléments rentrant dans la marche de refroidisseur

Pour assurer le fonctionnement normal d'un refroidisseur (d'un échangeur), il est nécessaire d'étudier et de contrôler plusieurs éléments, parmi lesquels :

- Les paramètres physico-chimiques des fluides.
- La nature des fluides et leur composition.
- La nature des ressources matérielles.
- L'existence et l'efficacité des protections contre les différents problèmes possibles.(la corrosion, l'encrassement, la vibration... etc.)

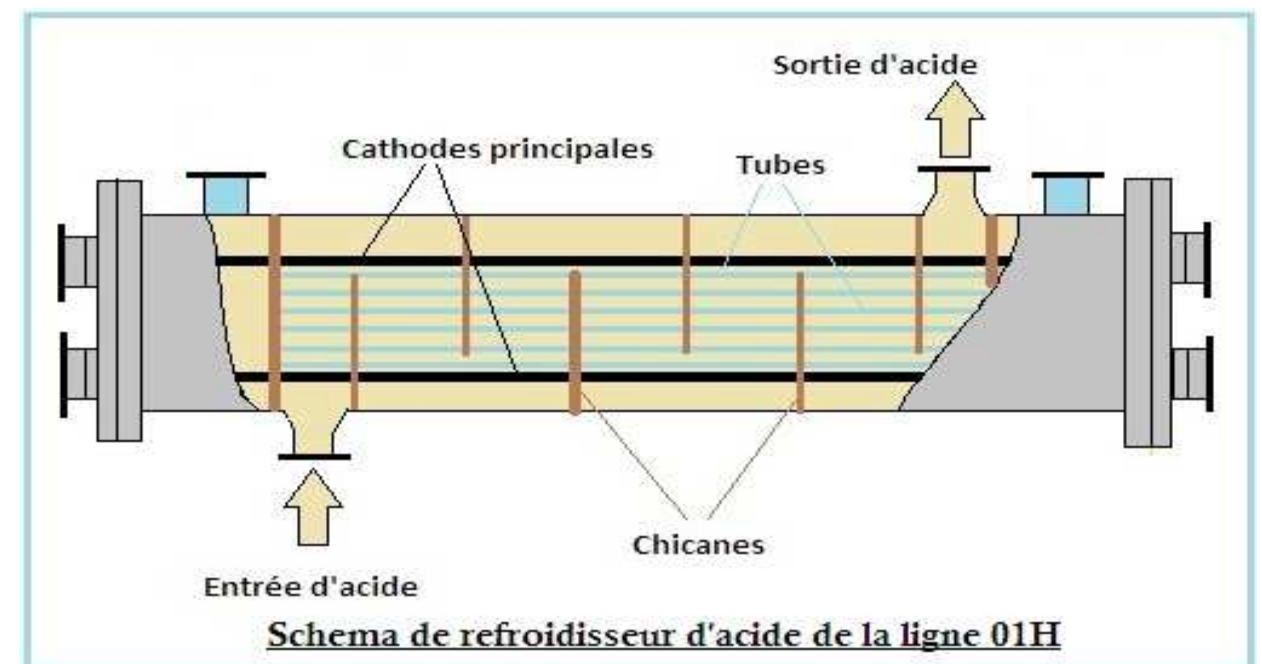
## **II. L'état de lieu (la situation actuelle)**

### **1) Description du système de refroidissement pour les procédés d'acide**

**En général :** Le système de refroidissement de l'acide élimine l'excédent de chaleur produit par le séchage, l'absorption et le refroidissement du gaz dans les tours d'acide. Chaque usine d'acide présente une disposition qui lui est propre, et les refroidisseurs d'acide doivent donc être conçus pour traiter la charge thermique spécifique produite.

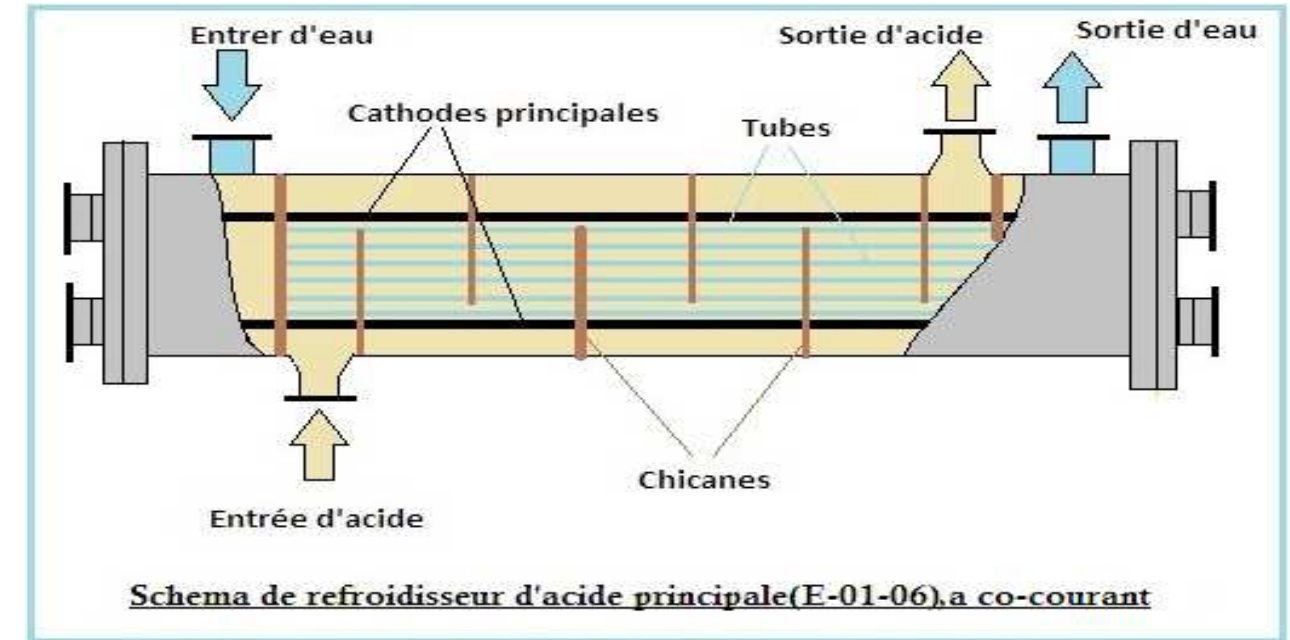
**Pour le procédé de MAROC PHOSPHORE 1:** Le refroidisseur d'acide Aker Kvaerner Chemetics, qui transfère l'excédent de chaleur de l'acide à l'eau de refroidissement, est constitué d'un échangeur de chaleur à faisceau tubulaire en acier inoxydable. L'acide s'écoule dans l'espace à l'extérieur des tubes au côté calandre qui est refroidi par l'eau s'écoulant à l'intérieur des tubes.

A l'intérieur de la calandre du refroidisseur se trouvent les chicanes qui soutiennent les tubes et font dévier l'acide tout autour des tubes pour promouvoir le transfert de la chaleur.



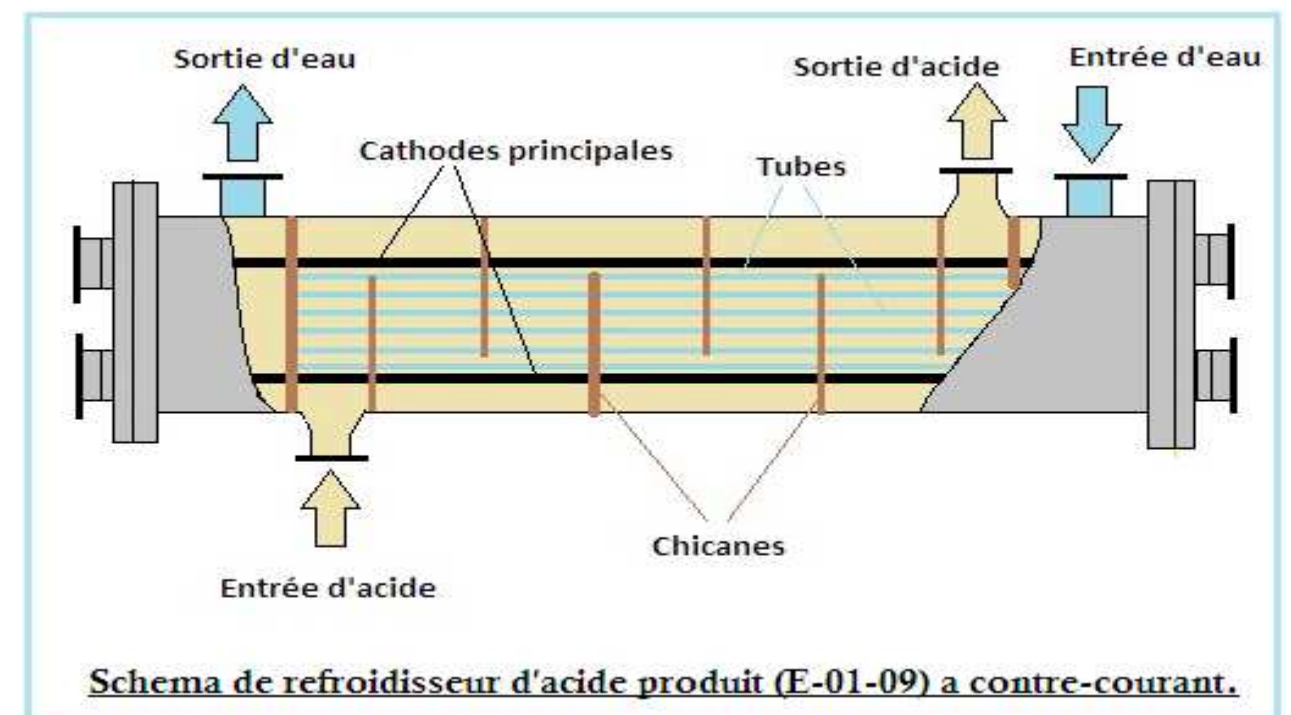
Toutes les surfaces métalliques qui entrent avec l'acide à l'intérieur du refroidisseur (tubes, calandre, plaques tubulaires, chicanes, buses d'acide) sont faites d'acier inoxydable. Ces pièces sont protégées contre la corrosion au moyen du système de protection anodique, qui produit une pellicule d'oxyde protectrice sur les surfaces mouillées d'acide. **Dans le procédé de la ligne 01H on a deux refroidisseurs de même type qui sont :**

- ♦ **Le premier (Refroidisseur d'acide principale):**



C'est un grand refroidisseur constitué de **1467 tubes** de diamètre 19.05 mm, et de longueur 9.144 m.

♦ **Le deuxième (refroidisseur d'acide produit):**



C'est un petit refroidisseur constitué de **142 tubes** de diamètre 19.05 mm, et de longueur 9.144 m.

**2) Mise en situation du problème**

➤ **Le problème**

Après quelques années de bon fonctionnement du refroidisseur d'acide principal, il a connu dernièrement une chute de pH de l'eau du refroidissement qui circule à l'intérieur des tubes à cause d'une fuite d'acide de partie calandre.

➤ **Les conditions de fonctionnement nominal**

Les températures d'entrée et de sortie des deux fluides ainsi que leurs débits et vitesses d'écoulement sont regroupés dans le tableau suivant :

Paramètres normales de fonctionnement	Acide (partie calandre)	Eau de mer (partie tube)
Température d'entrée (°C)	91	60
Température de sortie (°C)	20	30.8
Vitesses d'écoulement (m/s)	$V_W=0.98$ $V_X=0.86$	$V=2.92$
Taux nominal du débit (m <sup>3</sup> /h)	3037	3389

**Tableau : Paramètres normales de fonctionnement**

3) *Etudes générales primaires :*

Après une petite étude globale qui est résumée comme suit :

- Contrôle des paramètres physico chimique des fluides
- Prise des informations d'après l'arrêt de réparation (photos,...)
- Connaissance de procédure de l'eau de mer utilisée

➤ **Les résultats et les propositions :**

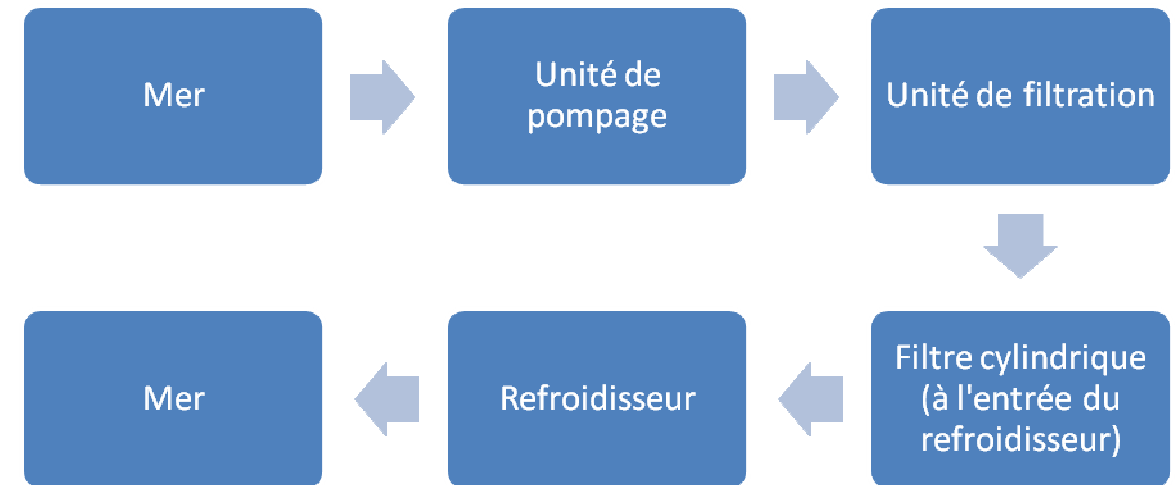
➤ **Dégradations constatées :**

**Photo: Fuite d'acide sur les tubes**

**✚ Mode de défaillance distingué :**

Après l'ouverture des portes visites (PV) du refroidisseur en question, une perforation des tubes est constatée au centre de la plaque tubulaire.

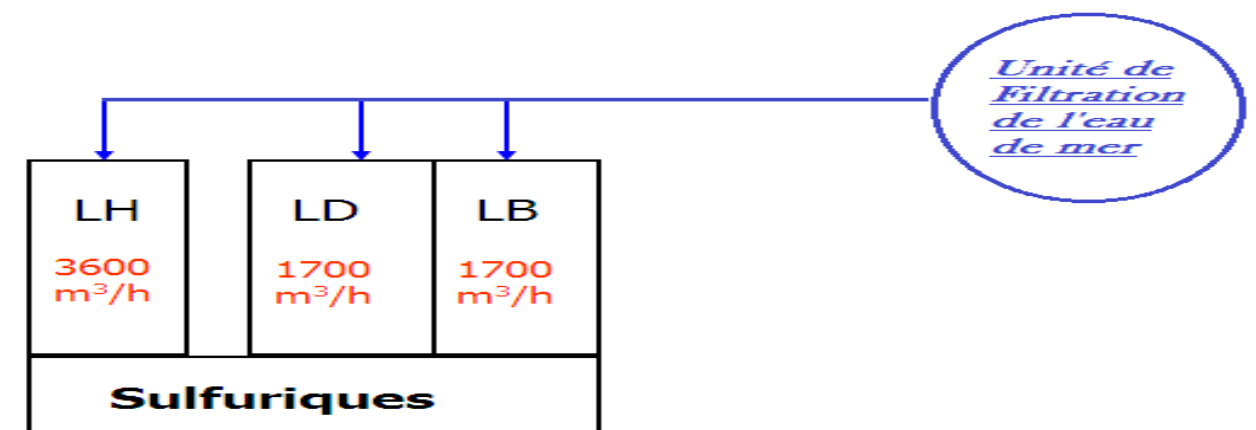
**✚ Procédure de refroidissement par l'eau de mer :**



Processus globale de l'eau de refroidissement.

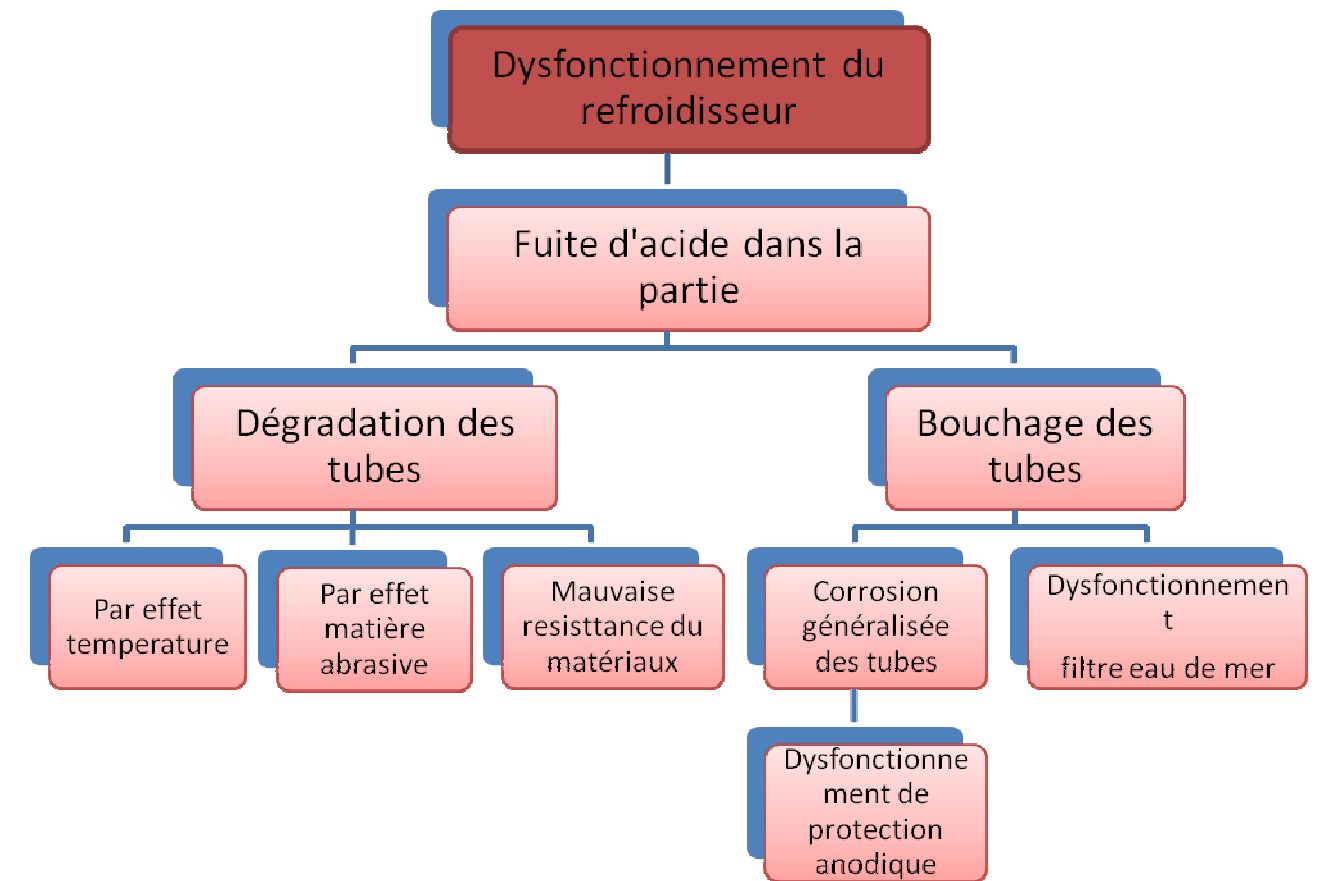
La procédure de l'eau de mer est simple, elle est présentée dans le schéma ci-dessus. Malgré cette simplicité il y'a **un problème de débit de l'eau de refroidissement** à cause de sarépartition avant l'arrivée à la ligne 01H. Cette répartition est détaillée comme suite :

En aval de l'unité de filtration il y a deux autres unité de refroidissement qu'elles sont plus proches que celle de la ligne 01H (LH):





**Arbre de défaillance simplifié**



**Figure : Arbre de défaillance « Dysfonctionnement refroidisseur »**

*4) Phase d'analyse*

Cette phase est consacrée à la connaissance de vraies causes des problèmes afin de les traiter définitivement :

Et pour cela j'ai effectuées étapes suivantes :

- Visite de l'unité de filtration de l'eau de mer, et des filtres cylindriques.
- Etude du régime de fonctionnement du refroidisseur avant l'arrêt.
- Prise en compte du rapport du spécialiste CHEMETICS (spécialiste de la société fournisseur qui fait un contrôle de l'efficacité du système anodique).
- Analyse de l'eau de mer (pour connaître l'efficacité de la filtration, au niveau de l'unité de filtration et au niveau des filtres cylindriques).

#### **Régime de fonctionnement du refroidisseur avant l'arrêt :**

% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = 98%

T= 86 °C

**Zone de fonctionnement normal.**

Pour ce pourcentage d'acide (98% ) ; la zone de corrosion de ce refroidisseur se trouve à partir de T= 110 °C. (Réf : *guide d'Aker Kvaerner Chemetics*).

#### **L'efficacité de protection anodique :**

D'après le rapport de spécialiste, les photos de fuite et le régime de fonctionnement, on peut déduire que la protection anodique est efficace jusqu'à présent.

**Les résultats des analyses de l'eau de mer** : Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

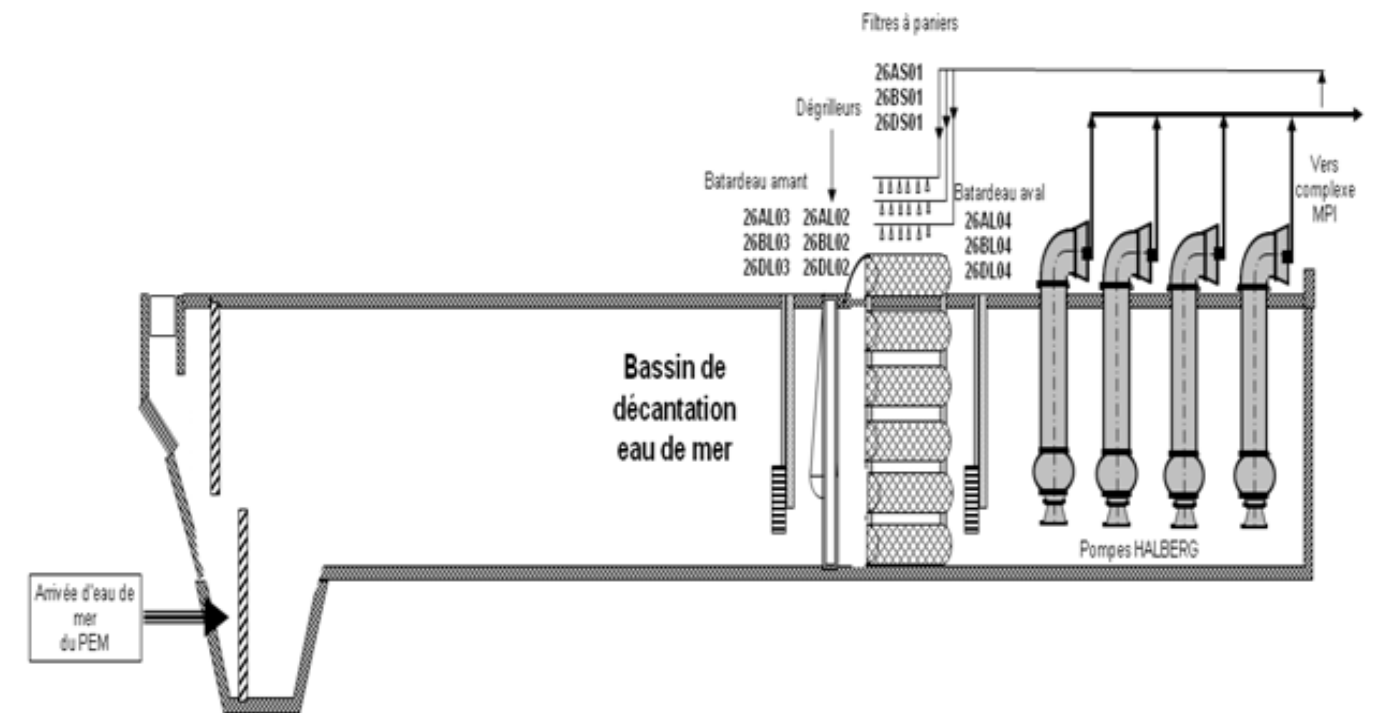
	L'eau à l'entrée d'unité de filtration	L'eau à l'entrée du filtre cylindre	L'eau à l'entrée du refroidisseur
Concentration de Cl <sup>-</sup> (g/l)	13.8	13.3	13.3
Concentration de Na <sup>+</sup> (g/l)	11.4	10.8	10.8
L'existence de matière en suspension	Existe	Existe	Existe

**Tableau : résultats des analyses de l'eau de mer**

La concentration de  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  dans l'eau de mer est élevée, mais le but de ces analyses est de connaître l'efficacité de la filtration. (C'est-à-dire est ce qu'il ya de diminution de ces concentration ou non).

#### **✚ Description du procédé de l'unité de filtration :**

Avant d'utiliser l'eau de mer comme eau de refroidissement de l'acide sulfurique, il est obligatoire de la faire passer par un système de filtration afin d'éliminer les impuretés et les saletés d'eau de mer. De ce fait on procède à filtrer l'eau de mer selon le schéma suivant :



**SCHEMA DU PROCEDE DE FILTRATION D'EAU DE MER**

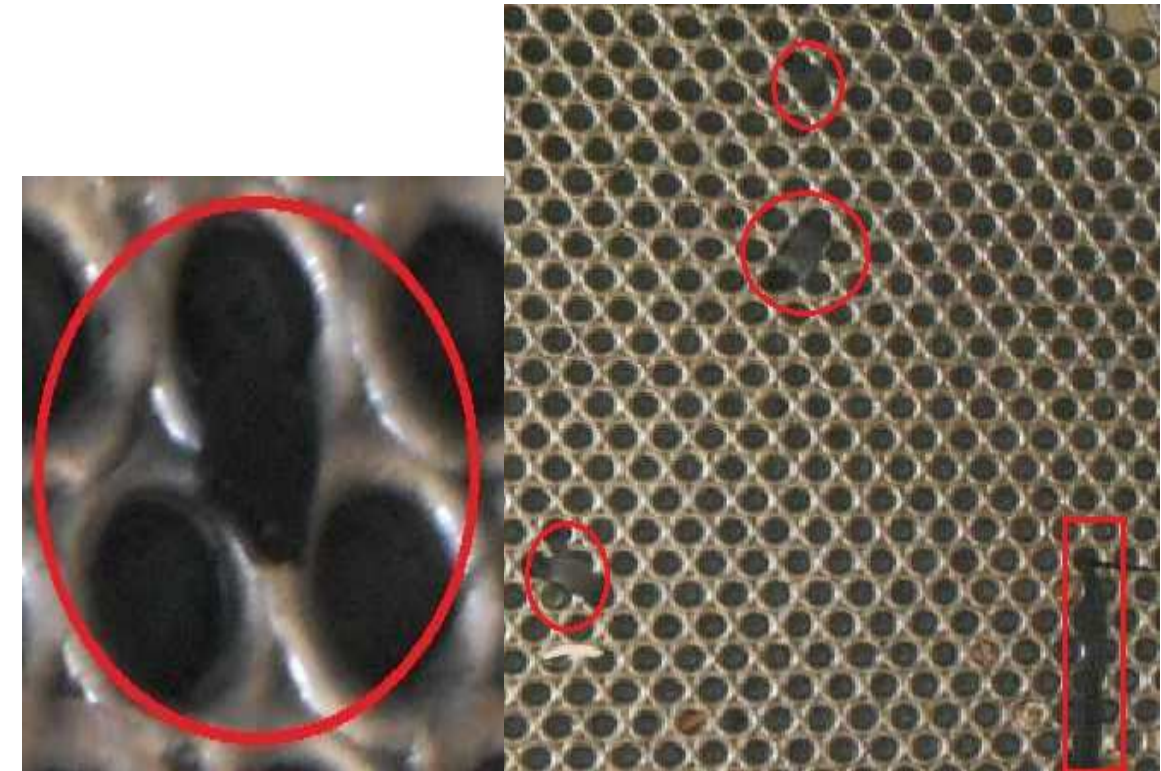
On stocke l'eau de mer dans un bassin afin de réaliser l'opération de décantation du sable, après il y a ouverture des batardeaux amonts des 3 chambres pour faire passer l'eau de mer par des grilles qui éliminent les algues et les déchets de grandes tailles, ces grilles sont équipées de dégrilleurs pour les nettoyer, ensuite l'eau de mer passe à travers des filtres à paniers équipés de systèmes de rinçage automatique, après cette opération, les batardeaux avals des chambres s'ouvrent afin de faire passer l'eau de mer dans un bassin où il y a quatre pompes HALBERG qui refoulent l'eau vers le complexe MP1.



**Après ma visite à cette unité de filtration j'ai remarqué deux choses très importantes et urgentes qu'on doit prendre en considération :**

- ☞ Le bassin est dimensionné pour faire éliminer le sable et les matières en suspension par un racleur avec pont roulant, mais malheureusement actuellement il n'existe pas dans le système, et par conséquent il y a des matières en suspension qui peuvent passer à travers le bassin de décantation.
- ☞ Les membranes des filtres à paniers sont déchirées, et peuvent laisser passer des polluants de grande taille.

**Remarque :** malheureusement je n'ai pas pu prendre des photos de ces problèmes qui peuvent affecter les refroidisseurs de la ligne 01H par bouchage des tubes. Mais ces photos de l'arrêt du refroidisseur peuvent nous donner une idée claire :



**Photos : Des polluants de grande taille à l'intérieur du refroidisseur.**

- ☞ On peut déduire que le fonctionnement même des filtres cylindres n'est pas efficace, et non seulement celui de l'unité de refroidissement.

#### **Analyse cause – racine**

Arrêt chaud  
de la ligne  
01H

Fuite d'acide  
dans les tubes

Dysfonctionne-  
ment de la  
protection  
anodique

Surchauffe  
des tubes

Détérioration  
des joints de  
soudure

Pression  
d'eau  
inférieure  
aux normes

**Schéma : Analyse Cause-Racine du refroidisseur principal (Ligne 01H)**

## Suggestions

Les suggestions à faire pour le bon fonctionnement des refroidisseurs sont les suivantes :

- ◆ Réparation des filtres à panier de l'unité de filtration.
- ◆ Suivi de débit.
- ◆ Maintien des vannes d'isolement coté eau de mer
- ◆ Maintien d'une installation de l'eau douce du refroidisseur dans le but de :
  - Ajuster le débit pendant la période de marée basse.
  - Diminuer la salinité d'eau (la concentration de  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ ).
  - Nettoyage pendant l'arrêt.
- ◆ L'ajout d'une cinquième pompe dans l'unité de filtration (pour assurer le débit nécessaire d'eau de refroidissement).
- ◆ Planification d'une filtration chimique ou membranaire pour diminuer la concentration de chlorure  $\text{Cl}^-$ .
- ◆ Remplacement des filtres cylindriques avec des filtres à deux plaques (pour pouvoir nettoyer l'un des deux avec la marche normale de l'eau).
- ◆ Analyse de l'eau de mer (pH, Température, impuretés,...).
- ◆ Mettre en place des cathodes sacrificielles au niveau des portes visites (PV).

# Conclusion générale

A la fin de mon stage à l'OCP j'ai déduit que, le fond du problème de dégradation des refroidisseurs existe principalement au niveau du pompage et de la filtration. (Mauvaise filtration et débit d'eau insuffisant).

Toutefois cette période de stage m'a permis de m'intégrer au sein des équipes de production et d'établir des relations avec les équipes de régulations, mécaniciens et électriciens, aussi j'ai acquis des connaissances d'initiation avec le milieu de travail, mais il faudra que je fasse de mon mieux afin d'améliorer mes compétences professionnelles, chose qui s'aboutit avec du travail et de l'effort.