

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة عبد الحميد بن باديس – مستغانم
Université Abdelhamid ben Badis de Mostaganem



قسم الكيمياء
Département de chimie

Date de dépôt..... Sous le n° :...../2017

**Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master
Spécialité : Analyses Spectrales en Chimie**

Thème

Amélioration et analyse de la qualité
d'eau de refroidissement au sein de
CP1/Z

Présenter par : KHALDI MOHAMED AMINE

Devant le jury composé de :

Président

Examineur

Encadreur : Mr. BELHAKEM

ANNEE UNIVERSITAIRE 2016/2017

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

*Mes chers parents que je les
remercie énormément pour leurs sacrifices, leur soutien
et leurs encouragements durant toutes ces années ; que dieu les
gardes pour moi.*

Ma sœur : Ferdous

Mon frère : Farouk

Toute la famille Khaldi.

Tous mes amis de promotion ANALYSE SPECTRALE EN CHIMIE.

Tous mes amis spécialement :krimo, tarik et yamina ,lidia

Tous ceux qui me connaissent

Remerciements

En premier lieu, nous tenons à remercier DIEU notre créateur, pour nous avoir donné la force d'accomplir ce travail.

*Nous adressons nos vifs remerciements à notre encadreur **Mr Belhakem** pour sa compréhension, sa patience, ses remarques qui ont été précieuses et ces soutiens dans des moments très difficiles.*

Nos plus sincères remerciements vont également à tous les enseignants du département de chimie qui nous ont aidés, conseillés et guidés afin de finaliser ce présent mémoire dans des bonnes conditions.

*Sans oublier de remercier l'ensemble du personnel du complexe de Pétrochimie **CP1/Z** pour leurs encouragements.*

Ainsi qu'à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin.

Nous remercions également les membres du jury qui nous ferons l'honneur de juger notre travail.

Résumé

Les eaux de refroidissement sont largement utilisées dans la plupart de l'industrie des pays développés notamment dans l'industrie chimique et pétrochimique. Généralement, les eaux de refroidissement contribue peu à la contamination mais génère une contamination thermique qui peut déséquilibrer le système environnementale.

L'objectif de ce travail consisté à la représentation de système de refroidissement et la détermination de la qualité des eaux alimentant le circuit de refroidissement. D'après les résultats obtenus, le circuit de refroidissement dans le complexe CPI/Z Arzew est de type semi ouvert, sert à refroidir les échangeurs de chaleurs, le système de refroidissement de l'huile de lubrification des turbines...ect. La qualité des eaux alimentant le circuit de refroidissement semble médiocre car ces eaux sont caractérisées par une forte minéralisation, une dureté et alcalinité qui dépassent le design. Cette qualité a provoquée des problèmes dans le circuit le dépôt de tartre. Pour minimiser ses problèmes l'ajout d'autres inhibiteur d'entartrage et la purge.

Mots clés : circuit de refroidissement, entartrage, purge, inhibiteur, alcalinité, la dureté, échangeurs de chaleurs.

Table des matières

Introduction générale	01
I. Généralité sur le méthanol et la corrosion	02
I.1. Description du procédé de fabrication	02
I.1.1. Définition du méthanol	02
I.1.1.1. Les propriétés physico-chimiques du méthanol	02
I.1.1.2. Utilisation et les Donges de méthanol	03
I.1.1.3. Réaction et structure de méthanol	03
I.2. Les voies d'utilisation et valorisation de méthanol	03
I.2.1. Applications direct	03
I.3. Statistiques sur le méthanol	04
I.4. Généralités sur la corrosion	05
I.4.1. Définition de la corrosion	05
I.4.2. les facteurs de la corrosion	05
I.5. Aspect économique de la corrosion	06
I.6. La lutte contre la corrosion	07
II. Présentation de complexe CP1/Z	
II.1. Introduction	08
II.2. Présentation de complexe CP1/Z	09
II.2.1. Activités principales de complexe CP1/Z	09
II.2.2. Objectif de complexe CP1/Z	10
II.3. Les Utilités	10
II.3.1. Air comprimé et air service	11
II.3.2. Azote	11
II.3.3. Electricité	11
II.3.4. Vapeur	11
II.3.5. Gaz naturel	11
II.3.6. Eau déminéralisé	12
II.3.7. La tour de refroidissement	12
II.3.7.1. Description et fonctionnement de la tour de refroidissement	12

II.3.7.2. Cycle de l'eau de refroidissement au niveau de CP1/Z	13
II.4. Description du procédé de fabrication	14
II.4.1. Section 100 « Distribution des gaz naturel »	15
II.4.2. Section 200 « reforming catalytique »	16
II.4.3. Section 300 « Refroidissement Et Élimination de l'eau »	17
II.4.4. Section 400 « Compression du gaz synthèse »	18
II.4.5. Section 500 « Synthèse du méthanol »	19
II.4.6. Section 600 « Distillation du méthanol brut »	20
II.4.7. Section 700 « Système de vapeur »	22
II.5. Service de laboratoire	23
II.5.1. Importance de laboratoire	23
II.5.2. Le rôle de laboratoire	24
II.5.3. Les différentes sections de laboratoire	24
II.5.4. Les types d'analyses	24
II.5.4.1. Analyse du méthanol	24
II.5.4.2. Analyse des gaz	25
II.5.3. Analyses des eaux	25
II.6. conclusion	26

III. Eau de refroidissement

III.1. Introduction	27
III.2. L'eau de refroidissement	27
III.2.1. Les différents traitements de l'eau de refroidissement	27
III.2.1.1. Traitements physiques	27
III.2.1.2. Traitements chimiques	27
III.2.1.3. Traitements biologiques	28
III.2.2. Description sommaire de la tour de refroidissement	28
III.2.3. Éléments constitutifs d'une tour de refroidissement	29
III.3. Différents types de circuits	30
III.4. Echangeurs de chaleur	32
III.4.1. Echangeurs tubulaire à faisceau et calandre	32
III.5. Les problèmes rencontrés dans un circuit de refroidissement à eau re-circulée	34
III.5.1. L'entartrage	35
III.5.2. La corrosion	36
III.5.3. L'encrassement biologique	36

III.5.4. Corrosion et l'entartrage sur les circuits d'eau et de chaudières	37
III.5.4.1. L'encrassement et l'entartrage des échangeurs de chaleur pour l'eau	38
III.5.4.2. Rappel sur la mesure de coefficient d'échange	39
III.5.4.3. Evolution de l'encrassement des échangeurs de chaleur par l'eau de refroidissement	39
III.6. Conclusion	40
IV. Partie expérimentale	
IV.1. Introduction	41
IV.2. Echantillonnage	41
IV.3. Analyses physico-chimiques des eaux	42
IV.3.1. pH à T= 20°C	42
IV.3.2. La conductivité	43
IV.3.3. Le taux de sel (TDS)	44
IV.4. Analyse volumétrique	45
IV.4.1. Détermination de titre alcalimétrique complète (TAC)	46
IV.4.2. Titre hydrométrique (TH)	47
IV.4.3. Calcium Ca⁺⁺	48
IV.4.4. Magnésium Mg⁺⁺	50
IV.4.5. Le chlorure Cl⁻	51
IV.5. Analyse colorimétrique	52
IV.5.1. La silice SiO₂²⁻ (di oxyde de silicium)	52
IV.5.2. Fer Fe⁺⁺	54
IV.5.3. Matière en suspension MES	55
IV.6. Les conséquences et les solutions	56
IV.6.1. Les conséquences pour le pH, TH, TAC, TDS	57
IV.6.1.1. Solution pour ce problème	57
IV.6.1.2. Inhibiteur d'entartrage (poly phosphate)	58
IV.6.2. Conséquence de chlorure Cl⁻	58
IV.6.2.1. Solution	58
IV.6.3. Conséquence silice	58
IV.7. Préconisation	58
IV.8. Lavage chimique	60
IV.8.1. Principe de fonctionnement de nettoyage chimique	61

IV.8.2. Installation simplifiée	61
IV.8.3. Contrôle de l'efficacité de nettoyant	62
IV.8.3.1. L'acidité	62
IV.8.3.2. Le pH	63
IV.9. Conclusion	63
CONCLUSION	64
Références Bibliographiques	
Annexe	

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Spécifications commercial moyens du méthanol pour la chimie

Tableau II.1 : Unité méthanol

Tableau II.2 : Regroupe les différentes unités au niveau du complexe CP1/Z avec leur capacité.

Tableau II.3 : Modèle d'un tableau pour analyses de gaz de synthèse.

Tableau III.1 : Traitements physiques.

Tableau III.2 : Traitements chimiques.

Tableau IV.I : Spécification du l'eau brute et l'eau de refroidissement selon le design du méthanol

Tableau IV.2 : Les résultats d'analyses du pH.

Tableau IV.3 : Les résultats d'analyses de la conductivité (en *us*).

Tableau IV.4 : Les résultats d'analyses pour le TDS (en ppm).

Tableau IV.5 : Les résultats d'analyses pour le TAC (en °F).

Tableau IV.6 : Les résultats d'analyses pour le Titre Hydrométrie TH (en ppm).

Tableau IV.7 : Les résultats d'analyses pour le calcium [Ca^{++}] (en ppm).

Tableau IV.8 : Les résultats d'analyses pour le Magnésium [Mg^{++}] (en ppm).

Tableau IV.9: Les résultats d'analyses du chlorure [Cl^-] (en ppm).

Tableau IV.10: Les résultats d'analyses du Silice (ppm).

Tableau IV.11: Les résultats d'analyses du [Fe^{++}] (ppm).

Tableau IV.12: Les résultats d'analyses de l'Index de saturation

Liste des figures

- Figure I.1:** Structure du méthanol.
- Figure I.2:** Evolution de la production de CP1/Z en méthanol
- Figure I.3:** Corrosion de l'acier doux en fonction de la durée d'exposition en atmosphère industrielle, marine et rural (humide et sèche). Extrait de "Des matériaux
- Figure II.1 :** Tour de refroidissement
- Figure II.2 :** La tour de refroidissement du CP1/Z.
- Figure II.3:** Schéma simplifier du cycle de l'eau de refroidissement au sein de CP1 /Z.
- Figure II.4:** Schéma simplifié de l'unité méthanol
- Figure II.5:** Section 100 « distribution du gaz ».
- Figure II.6 :** Four de reforming
- Figure II.7:** Section 200 Four de reforming
- Figure II.8 :** Section 300 « refroidissement et séparation ».
- Figure II.9:** Section 400 « compression ».
- Figure II.10:** Section 500« Synthèse du méthanol »
- Figure II.11:** Colonnes de distillation (V601) et (V602)
- Figure II.12:** Section 600 « Distillation du méthanol brut »
- Figure II.13:** Section 700 « Système de vapeur »
- Figure:III.1 :** Tour de refroidissement
- Figure:III.2 :** Circuit ouvert
- Figure:III.3 :** Circuit fermés
- Figure:III.4 :** Circuit semi ouvert(CP1\Z)
- Figure:III.5 :** Un échangeur tubulaire
- Figure III.6:** Corrosion CP1/Z
- Figure III.7:** L'entartrage
- Figure III.8:** L'encrassement biologique
- Figure III.9:** Phénomène de corrosion
- Figure III.10:** Phénomène de corrosion
- Figure III.11 :** Corrosions et entartrage sur circuits d'eau et chaudières.
- Figure III.12:** Exemples d'échangeurs sale et propre.
- Figure IV.1 :** Variation du pH en fonction du temps (jour)
- Figure IV.2 :** Variation de la conductivité en fonction du temps (jour).
- Figure IV.3 :** Variation du TDS en fonction de temps (jour).

Figure IV.4 : Variation du TAC en fonction temps (jour).

Figure IV.5 : Variation du Titre Hydrométrie TH en fonction du temps (jour).

Figure IV.6 : Variation du calcium [Ca^{++}] en fonction du temps (jour)

Figure IV.7 : Variation du Magnésium [Mg^{++}] en fonction temps (jour)

Figure IV.8 : Influence du chlorure [Cl^-].

Figure IV.9 : Variation de la silice en fonction de temps (jour).

Figure IV.10: Variation du [Fe^{++}] en fonction de temps (jour).

Figure IV.11: Indice de Langelier

Figure IV.12: Variation l'indice de Langelier en fonction du temps (jour)

Figure IV.13: Les éléments d'une tour de refroidissement

Figure IV.14: Schéma d'un lavage chimique avec l'acide sulfurique pour un nettoyage d'échangeur

Liste des abréviations

CPI/Z : Complexe Pétrochimique 1 d'Arzew.

ER : Eau de Refroidissement.

EB : Eau Brute.

H : Echangeur.

TH : Titre Hydrométrique.

TDC : Taux De Sel.

TAC : Titre Alcalimétrique Complet.

Passivex : est un produit utiliser pour la protection de fer contre les acides forts.

RTO : Région de Transport Ouest

MES : Matières en suspension.

INTRODUCTION GENERAL

Introduction Générale

L'Entreprise nationale de l'industrie pétrochimique connaît un essor et un développement rapide durant les dernières années. Le pétrole et le gaz sont la source naturelle et l'une des formes d'énergie la plus exploitée en Algérie. C'est aussi le point de départ d'une industrie de transformation dans un domaine d'application assez vaste. Citons la production industrielle du méthanol qui demeure une matière première principale dans différents procédés de fabrication de l'industrie pétrochimique (formaldéhyde, résines uréiques, phénoliques, solvant, produit, pharmaceutique, produit cosmétiques, etc.....)

Le méthanol est synthétisé à partir du gaz synthèse ($\text{CO} + \text{H}_2$), ce gaz est obtenu à partir du méthane CH_4 et de la vapeur d'eau. Le méthanol brut produit contenant certains composés indésirables est ensuite purifié dans une section de distillation. Ce méthanol est destiné pour la fabrication du formaldéhyde et les résines à l'aide de différents procédés et opérations de transformations.

Ces réactions chimiques s'accompagnent d'un important dégagement de chaleur qu'il est impératif d'éliminer afin d'éviter l'emballement

L'eau de refroidissement est devenue indispensable dans la majeure partie des procédés de production et de transformation industrielle. Les exigences vont de l'élimination de la chaleur produite par les machines de production à la nécessité de maintenir des conditions de température contrôlée, leurs composants, leurs phases de production et les locaux.

Aujourd'hui la possibilité d'installer des systèmes de refroidissement spécifiquement adaptés aux applications industrielles sont des facteurs clés pour maintenir une fiabilité et une continuité de la production et ainsi optimiser les processus en réduisant les coûts.

L'usage de l'eau implique l'utilisation de récipients, canalisations et mécanismes qui mettent en contact un matériau avec cette eau. Lorsqu'une paroi solide est en contact avec une eau naturelle douce ou salée, le développement d'une couche à l'interface est couramment observé : biofilm, dépôt calco-magnésien, tartre, produit de corrosion, ... provenant de la précipitation d'une espèce en solution et/ou de la dégradation de la paroi elle-même.

Introduction

Tous les circuits alimentés par des eaux naturelles sont confrontés au problème de formation de dépôt calco-carbonique au niveau des parois en contact avec l'eau. L'enjeu économique de ce problème est d'autant plus important qu'il touche beaucoup de secteurs.

A cet effet nous vous soumettons cette étude réalisée au niveau du complexe de pétrochimie d'ARZEW CP1/Z.

Afin de mener bien notre travail, on a structuré le présent mémoire de fin d'étude dans quatre chapitres :

Le premier chapitre : généralités sur le méthanol et la corrosion

Le deuxième chapitre : présentation du complexe CP1/Z

Le troisième chapitre : eau de refroidissement

La partie expérimentale comporte les analyses physico-chimiques de l'eau de refroidissement au sein du complexe CP1/Z, les problèmes rencontrés quand les résultats d'analyse dépassent le design ensuite on a proposé des solutions pour résoudre ces problèmes.

Finalement, ce travail est clôturé par une conclusion générale sur l'importance de suivi des analyses d'eau de refroidissement.

CHAPITRE I

GENERALITE SUR LE METHANOL

ET LA CORROSION

I. Généralité sur le méthanol et la corrosion

I.1. Description du procédé de fabrication

I.1.1. Définition du méthanol

Le méthanol est produit à partir du méthane CH_4 et de vapeur d'eau pour obtenir le gaz de synthèse ($\text{CO}+\text{H}_2$). Ce dernier destiné pour la fabrication du méthanol vers la production du formaldéhyde, et de la matière plastique à l'aide de différents procédés et opération de transformation.

I.1.1.1. Les propriétés physico-chimiques du méthanol

Le méthanol (alcool méthylique) de formule chimique CH_3OH , est un liquide incolore et possède une odeur agréable ; il est miscible dans l'eau.

Le méthanol produit a une pureté supérieur ou égale à 99,85%, sa masse volumique à 20°C est de $0,7928 \text{ g/cm}^3$, sa masse moléculaire est égale à 32 g/mole et sa température d'ébullition est de $64,5^\circ\text{C}$.

Le méthanol est très toxique : 25 à 100 cm^3 de méthanol ingéré par l'homme peuvent provoquer la mort.

Tableau I.1 : Spécifications commercial moyens du méthanol pour la chimie [1].

Qualité	A
Méthanol (%pds) mini.	99,85
Densité 20/20°C.	792,8
Acétone et aldéhydes (ppm) max.	30
Acétone (ppm) max.	-
Ethanol (ppm) max.	-
Acide acétique (acides) (ppm) max.	30
H_2O (ppm) max.	1500
Intervalle de distillation sous $1,013 \cdot 10^5 \text{ pa abs}$	1°C autour de $64,6^\circ\text{C}$
Couleur (échelle pt-Co) max.	5
Résidu non volatil (g/100 ml).	0,001
Test au permanganate à $17-18^\circ\text{C}$ mini.	30

I.1.1.2. Utilisation et les Dangers du méthanol :

- Utilisé pour la production du formaldéhyde, et de la matière plastique à l'aide de différents procédés et opération de transformation.
- Il est explosif avec l'air comme il représente une perte énergétique d'environ 50% par rapport au CO₂.

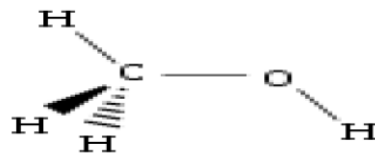
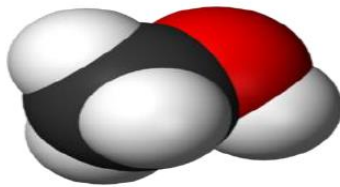
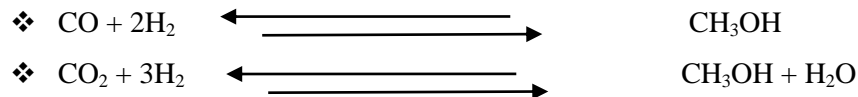
I.1.1.3. Réaction et structure du méthanol :

Figure I.1 : Structure du méthanol.

I.2. Les voies d'utilisation et de valorisation du méthanol**I.2.1 Applications direct [2] :**

- Traitement des eaux usées
- Nettoyage et séchage des fractions de charbon pulvérisé.
- Nettoyage des résines échangeuses d'ions.
- Agent d'extraction dans les industries pétrolières, chimiques et agro-alimentaires.
- Dégivreur.
- Antigél pour la déshydratation des pipelines.
- Plusieurs d'autre application.

I.3. Statistiques sur le méthanol [3]

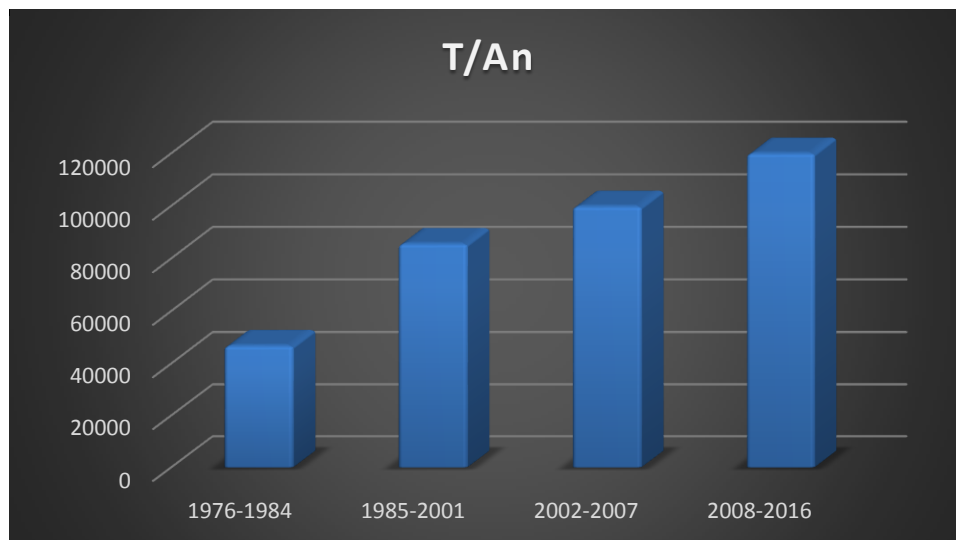


Figure I.2: Evolution de la production de CP1/Z en méthanol

I.4. Généralités sur la corrosion :

I.4.1. Définition de la corrosion

Selon les différents auteurs la corrosion correspond :

- À une destruction ou détérioration des métaux par les agents chimiques qui les environnent. Du point de vue étymologique le terme «corrosion» vient du mot latin «corroder» qui signifie ronger.
- À un retour des matériaux et alliages à leur état naturel de minerais (processus inverse de la métallurgie extractive).

I.4.2. Les facteurs de corrosion [4]

- La corrosion par les eaux
- La corrosion par les sols
- La corrosion atmosphérique

Au contact d'une atmosphère humide les aciers au carbone non protégés se recouvrent d'une couche d'oxydes de fer uniforme dont l'épaisseur croit de façon parabolique avec le temps.

L'atmosphère devient corrosive dès que le taux d'humidité de l'air est supérieur à 30%. Sa corrosivité dépend essentiellement de trois paramètres :

- L'humidité relative
- La teneur en SO₂
- La teneur en Cr
- La corrosion dépend également beaucoup de l'agressivité locale industrielle ou marine.

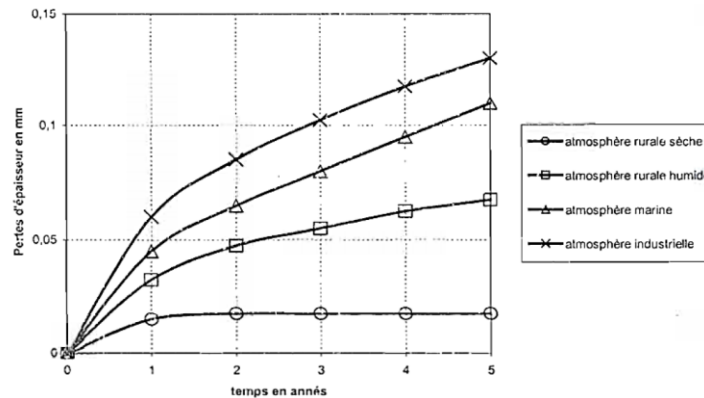


Figure I.3 : Corrosion de l'acier doux en fonction de la durée d'exposition en atmosphère industrielle, marine et rural (humide et sèche). Extrait de « Des matériaux » [4].

I.5. Aspect économique de la corrosion :

L'objectif principal de l'étude de la corrosion est d'ordre économique. En effet, les cas où on parle de maîtrise de la corrosion sont quelque peu trompeurs car le niveau 0 (zéro) de corrosion est inaccessible. Certaines mesures bien qu'elles réduisent la corrosion coûtent plus que l'équipement protégé. Les effets de la corrosion peuvent être résumés ci-après :

- Arrêt de la production
- Coût de l'entretien et du contrôle
- Coût des pièces à remplacer, des réparations à effectuer
- Coût dû à l'utilisation de matériaux plus nobles
- Contamination du produit par les produits de corrosion solubles
- Perte du produit
- Perte d'efficacité
- Augmentation des coefficients de sécurité (surdimensionnement)

I.6. La lutte contre la corrosion :

La lutte contre la corrosion doit être une préoccupation constante, depuis la conception des équipements jusqu'à leur entretien quotidien. Si les moyens à mettre en œuvre sont variés et dépendent en grande partie des situations d'utilisations particulières, le but recherché est d'enrayer la dégradation des équipements pour augmenter leur durée de vie.

Les différents moyens de lutte contre la corrosion sont :

- La protection électrochimique
- La protection par revêtement et traitement de surface
- L'action sur le milieu de corrosion
- Le choix des matériaux
- La conception et le tracé des assemblages

CHAPITRE II
PRESENTATION DU COMPLEXE
CP1/Z

II. Présentation du complexe CP1/Z

II.1 Historique [5] :

Le complexe méthanol et résines synthétique d'Arzew localisé à 40 km d'Oran, fut le premier projet de la société Algero-Italienne ALMER (60% SONATRACH et 40% SIR) et dans le but était de développer une industrie pétrochimique naissante.

Ce complexe comporte plusieurs unités et s'étend sur 27 ha.

Tableau II.1 : Unité méthanol

Unité	Procédé	Capacité (T / An)
		100 000 TM/An (1976-2002)
Méthanol	ICI basse pression (50 bars) société	113 000 TM/An (2002) avec rapport CO ₂

Les Phases de Réalisation et de Mise en Exploitation.

- **1968** : Elaboration d'une convention entre la SONATRACH et la société italienne SIR qui donne naissance à la société mixte ALMER (Algérie Méthanol et Résine).
- **1969** : Naissance de la société ALMER (60% SH, 40% SIR).
- **1970** : ALMER confie la construction de l'unité méthanol à HUMPHREYS & GLASGOW ce contrat n'entrera en vigueur qu'en février 1971.
- **1971** : La SONATRACH prend en charge entièrement la poursuite de la Réalisation du projet.
- **1972** : Signature du contrat avec ITALCONSULT pour la réalisation des Utilités. Entrée en vigueur Octobre.
- **1973** : Signature d'un contrat avec le même constructeur pour la réalisation des unités résines.
- **1975** : Mise en service des utilités.
- **1976** : Entrée en exploitation de l'unité Méthanol.
- **1978** : Entrée en exploitation des unités résines.

II.2. Présentation du Complexe CP1/Z :

Le complexe Méthanol et Résines Synthétiques occupant une superficie de 27 Hectares sur le plateau du Mahgoun dominant la baie d'ARZEW, le CP1/Z est situé à deux (02) Km de la ville au nord de la Raffinerie,

Le CP1/Z, est constitué d'un ensemble d'unités destinées à la fabrication des produits thermodurcissables à base d'Urée – Formol, de phénol et de la Mélamine / Formol, en plus du Méthanol.

II.2.1. Activités principales du complexe CP1/Z :

Le complexe CP1Z a pour activité la production de divers produits pétrochimiques de base et des produits finis de résines thermodurcissable destinés au marché national et à l'exportation Jusqu'à la fin des années 90 et avant l'arrêt de la production de quelques unités suite aux problèmes de commercialisation et obsolescence des produits, le complexe produisait la gamme des produits suivants :

- Méthanol, Grade A
- Formaldéhyde 36%
- Formuée 80 (UFC80)
- Résines phénoliques liquides
- Résines phénoliques en poudre à mouler
- Résines uréiques liquides
- Résines uréiques atomisées
- Résines uréiques en poudre à mouler
- Résines Mélaniques

Actuellement, le complexe fabrique principalement le méthanol et quelques résines « Colle à bois urée-formol » :

- Méthanol, Grade A
- Formaldéhyde 36%
- Formuée 80
- Résines uréiques solides S30 et liquides L10

Le Tableau II.2 regroupe les différentes unités au niveau du complexe CP1/Z avec leur capacité.

Tableau II.2: Capacité de production des unités du complexe CP1Z.

Désignation des produits	Application abrégé	Capacité (tonne /an)
Méthanol	Me OH	112.000
Formaldéhyde / Formurée	<i>F36 + UF80</i>	20.000
Résines uréiques liquides	RUL	
Résines uréiques atomisées	RUA	Production par compagne
Résines phénoliques liquides (mousses lamifiées)	<i>RØL et RØM</i>	Production par compagne
Résines phénoliques poudres à mouler.	RØPM	Production par compagne
Résines mélaminiques	RM	Production par compagne
Résines uréiques poudres à Mouler.	RUPM	Production par compagne

II.2.2. Objectifs du complexe CP1/Z :

Les installations pétrochimiques utilisent le gaz naturel (Méthane CH₄) comme matière première principale pour la fabrication de divers produits thermodurcissables (colles uréiques et phénoliques) utilisées dans l'industrie du bois, dérivées du produit méthanol alcool (CH₃COOH).

II.3. Les Utilités :

Les utilités constituent une zone importante au sein du complexe. Elles permettent d'assurer la fourniture de tous les besoins en utilités pendant le démarrage et la marche normale des installations de la production du méthanol. Et résines

Cette zone fournit d'une manière continue les éléments suivants :

- Air service
- Air comprimé : utilisé pour les instruments de régulation.
- Azote pour inerte les installations.
- Électricité.

- Vapeur (MP- BP- HP).
- Gaz naturel.
- Eau déminéralisée.
- tour de refroidissement.

II.3.1. Air comprimé et air service :

La section est constituée par quatre compresseurs d'air verticaux, l'air service ne subit aucun traitement, l'air instrument est desséché dans les sécheurs à alumine active.

II.3.2. Azote :

On utilise l'azote (N) pour le fonctionnement des compresseurs lors des démarrages et arrêts de l'unité de méthanol

L'azote est stocké dans un récipient cylindrique en acier inoxydable, contenue dans une enveloppe d'acier au carbone, l'espace compris entre le récipient et l'enveloppe extérieure est rempli de matériel isolant (perlite) sous vide poussé. Et muni d'un système de mise en pression.

Le circuit de mise en pression du récipient intérieur est constitué par: un serpentín formé d'un tube en cuivre enroulé à hélice cylindrique et immerger dans un bassin a eau chauffé par la vapeur BP afin d'augmenter sa température, après la sortie le N₂ passe par un autre serpentín qui est lui aussi émerger dans un bassin rempli par l'eau incendie pour contrôler sa température et sa pression.

II.3.3. Électricité :

L'alimentation du complexe se fait par la SONEGAS (02 lignes distinctes de 30KV) dont l'une est aérienne et l'autre est souterrain munie d'un système de permutation Semi-automatique. Dans le cas où la tension fait défaut l'alimentation des équipements prioritaires s'effectue par trois groupes électrogènes d'une puissance globale de 900KV.

II.3.4. Vapeur :

La centrale thermique est constituée par deux chaudières. La vapeur produite sert non seulement à la marche des turbines et chauffage des équipements mais aussi comme vapeur de procédé de l'unité méthanol capacité totale 50T/ h (65 bar-400°C).

II.3.5. Gaz naturel :

Le gaz naturel provenant de Hassi R'mel dépoussiéré, filtré est utilisé non seulement comme combustible mais aussi comme gaz de procédé, débit normal 24 000 Nm/h.

II.3.6. Eau déminéralisée :

L'eau de la station RA1Z provenant des barrages, ayant subi un traitement de décantation, floculation et javellisation arrive chargé de sels minéraux au niveau de l'unité pour être utilisé dans les installations, elle doit faire impérativement l'objet d'une série de traitement pour éliminer les sels dissous tels que Mg^{2+} Ca^{2+} par filtration à sable, filtration à charbon actif et cartouche, par électrodialyse à pôles inverses. Actuellement l'unité 12 est à l'arrêt. Elle est mise périodiquement en service pour sa préservation et l'eau traitée est fournie par les évaporateurs installés au niveau du complexe de liquéfaction de GL4/Z. 2 évaporateurs pour le traitement de l'eau de mer avec un débit total de 140 m³/h et un débit moyen fourni au complexe CP1/Z de 80 m³/h d'eau semi déminéralisé pour les besoins de l'unité.

II.3.7. La tour de refroidissement :

L'eau de refroidissement est nécessaire aux différentes unités

- Par une installation à cycle semi-ouvert avec un refroidissement d'eau à contre-courant d'air, débit normal 4 000 m³ / h, température de sortie 25°C.
- Par un groupe de refroidissement d'eau par absorption destiné spécialement pour les unités résines, débit normal 360 m³ / h, température de sortie 15°C [6].

L'eau de refroidissement fera l'objet d'une attention particulière pour notre mémoire.

II.3.7.1. Description et fonctionnement de la tour de refroidissement :

Le système de refroidissement nécessaire aux différents usages des unités de complexe est fourni par une installation à cycle semi-ouvert avec tours de refroidissement, les pompes de l'eau de refroidissement (13-p-1, p-2, p-3, p-4,p-5) alimentent un collecteur duquel partent les embranchements pour les divers unités.

Parallèlement à ce collecteur d'alimentation court un collecteur de retour qui reçoit des utilisateurs l'eau chaude à refroidir et l'envoie au sommet des tours 13-TW-1, TW-2, TW-3.

L'eau qui entre dans la tour de refroidissement est distribuée uniformément sur toute la surface de la tour à travers un canal principal, des canaux latéraux, posées au bas des canaux latéraux, qui canalisent un jet d'eau sur des petits plats « brise-jet » disposés à une certaine distance. L'impact provoque une première dispersion de l'eau.

Ensuite l'eau traverse le remplissage de la tour, où se vérifie une ultérieure et plus fine dispersion.

Dans le remplissage nous avons donc le contact entre l'eau qui descend et l'air qui monte, aspiré par les ventilateurs.

Avec le fractionnement de l'eau, la surface de contact eau-air est beaucoup augmentée de façon que l'échange thermique entre eau et air devienne plus facile. Cet échange thermique se produit presque complètement par l'évaporation d'une certaine partie de l'eau, vapeur qui est absorbée par l'air [6].

L'équipement mécanique de la tour de refroidissement est composé :

- Un ventilateur axial.
- Un réducteur de vitesse avec axes orthogonaux.
- Un arbre de transmission dynamiquement équilibré.
- Un moteur électrique.
- Pulvérisateur.
- Séparateur de gouttelettes.

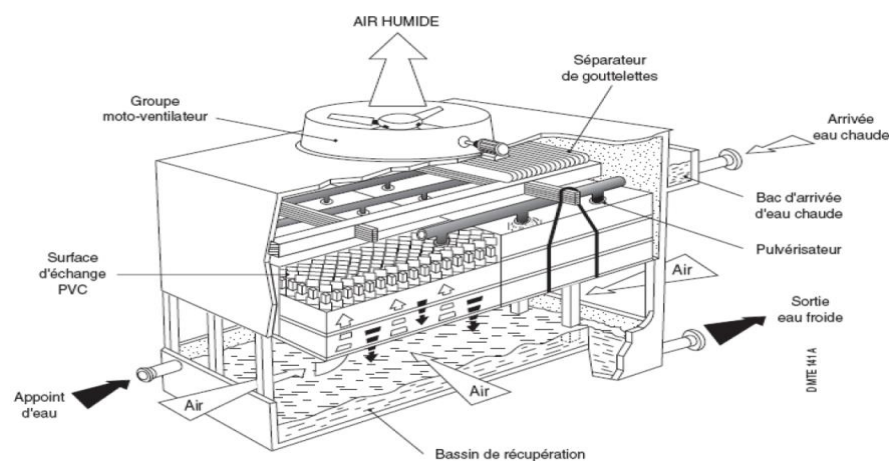


Figure II.1 : Tour de refroidissement.



Figure II.2: La tour de refroidissement du CP1/Z.

II.3.7.2. Cycle du l'eau de refroidissement au niveau de CP1/Z :

Le système de refroidissement utilisé au sein du complexe CP1/Z est un système semi-ouvert (recercler).

L'eau qui sort de la tour est une eau froide, circule dans des tuyaux en direction des équipements de procès (échangeur, pompe et transmetteur de débit), après l'opération de refroidissement l'eau sort avec une température élevée (l'eau chaude), puis l'eau retourne ver la tour pour être refroidi. Cette opération est se répète pendant la production.

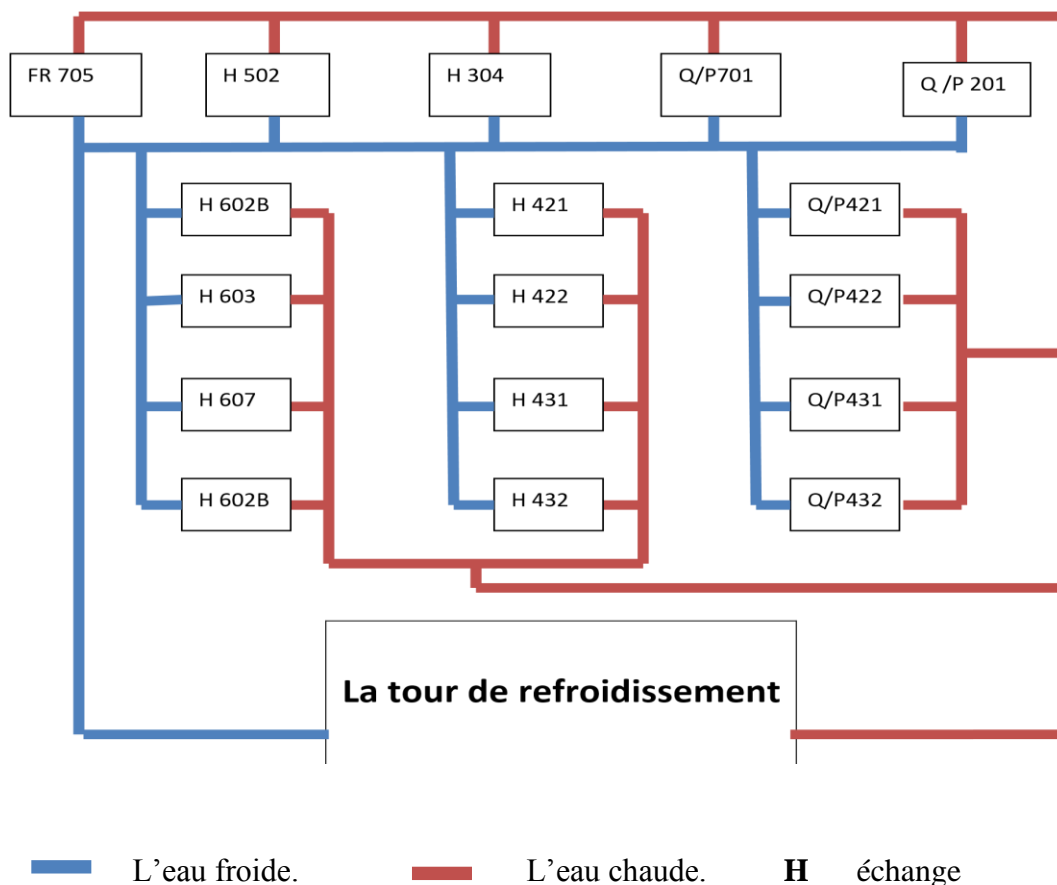


Figure II.3 : schéma simplifier du cycle de l'eau de refroidissement au sein de CP1 /Z.

II.4.Description du procédé de fabrication :

L'unité méthanol occupe une superficie de 2700 m² (45 x 60 m). L'ingénierie et la fourniture des équipements ont été faits par la société anglaise de Humphrey & Glasgow, utilisant le procédé : I.C.I ; le montage de l'usine a été réalisé par la société italienne S.I.R, sa capacité de production : 100.000T/an. Cette unité utilise le gaz naturel de Hassi-Rmel et la vapeur d'eau comme matières premières.

Pour obtenir du méthanol raffiné on doit passer par six phases de transformation :

1. Section 100 : Section de la détente, distribution et désulfuration du gaz naturel
2. Section 200 : Reforming catalytique.
3. Section 300 : Refroidissement du gaz de synthèse et récupération du condensat.
4. Section 400 : Compression du gaz de synthèse.
5. Section 500 : Synthèse du méthanol brut.
6. Section 600 : Distillation.
7. Section 700 : Vapeur

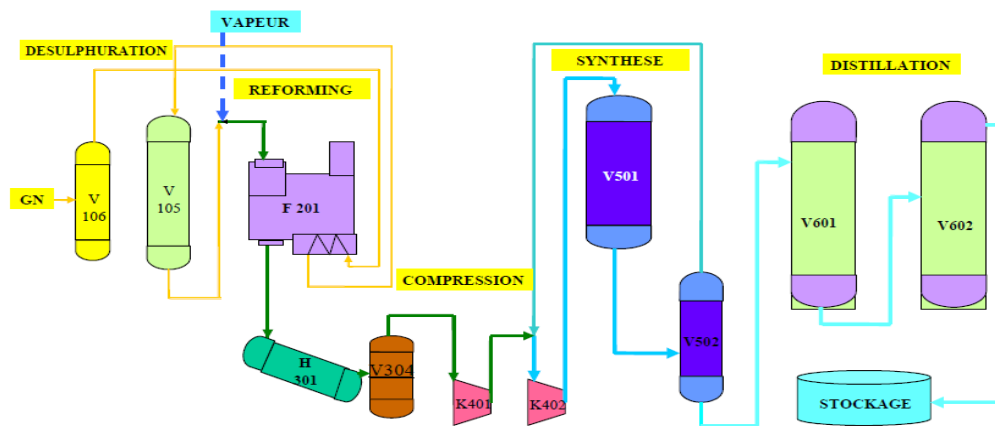


Figure II.4 : Schéma simplifié de l'unité méthanol

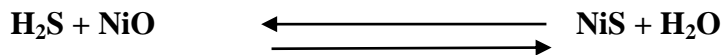
II.4.1. Section 100 « Distribution des gaz naturel »

D'abord, le gaz naturel qui provient de RTO avec une pression 30 bar s'écoule vers le séparateur V106 à une pression 28 bar pour que toutes les traces des hydrocarbures liquides seront éliminées.

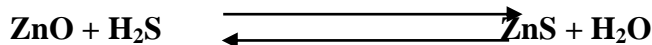
Le gaz naturel sortant du V106 est réparti et utilisé comme :

- Gaz combustible dans le four de reforming vers F201.
- Gaz combustible pour les brûleurs auxiliaires vers F201.
- Gaz pilote vers F201.
- Gaz de processus vers F201.
- Gaz de blinking vers T603-T651A/B.

Le gaz du processus doit passer par un désulfureur, pour éviter l'empoisonnement du catalyseur (NiO) du four de reforming suivant la réaction de destruction :



Le catalyseur du désulfureur est à base de zinc, la réaction de la désulfuration s'effectue à 40°C.



La teneur limite du soufre dans le gaz naturel traité ne doit pas dépasser 0,5 ppm

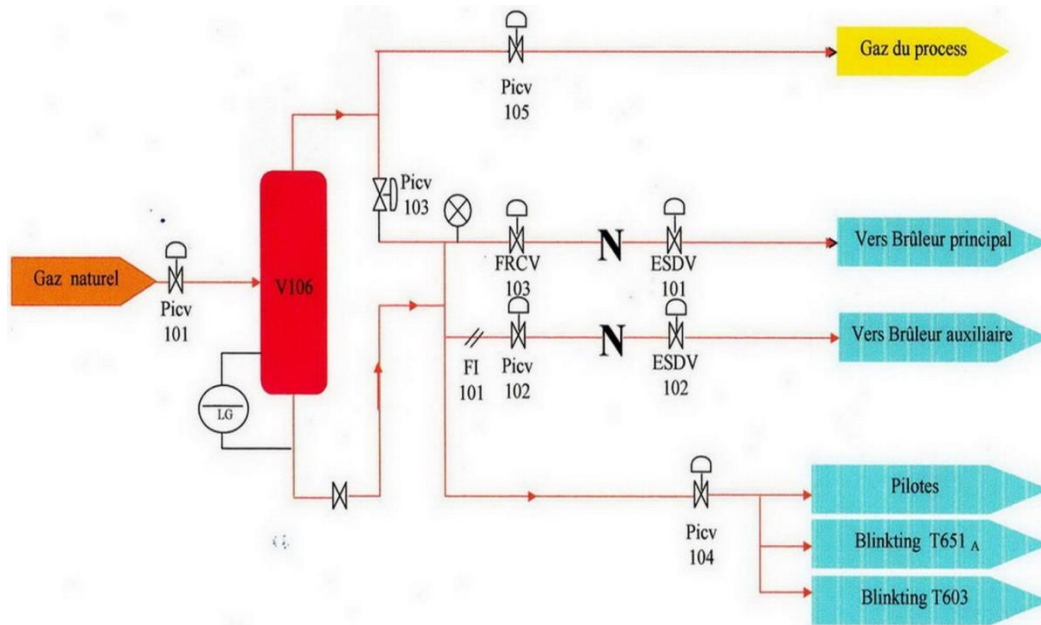


Figure II.5: Section 100 « distribution du gaz ».

II.4.2. Section 200 « reforming catalytique »

Le gaz naturel désulfuré qui sort du désulfureur (V105) est mélangé avec la vapeur Surchauffée provenant de la ligne de vapeur à une pression de 27 bar. Le rapport vapeur/gaz à une valeur normale de 3/1 (03 moles de vapeur par l'atome de carbone). Ce rapport optimal est obtenu après avoir considéré le coût relatif du produit d'alimentation du combustible et de l'eau de refroidissement.

Le four de reforming est alimenté par le mélange gaz/vapeur à 360 °C ce dernier passe à l'intérieur des 168 tubes verticaux où la réaction est faite au-dessus d'un catalyseur à base de l'oxyde de nickel NiO. Ce catalyseur est contenu dans les 168 tubes.

La chaleur nécessaire à la réaction endothermique est fournie par les 60 brûleurs installés verticalement dans le four de reforming.

A la sortie du four de reforming dont la température atteint 800 °C et 19 bar on obtient le gaz de synthèse composé principalement de l'hydrogène (H₂), le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de carbone (CO₂), du méthane et de la vapeur d'eau.

Les réactions qui ont lieu dans le four de reforming sont :

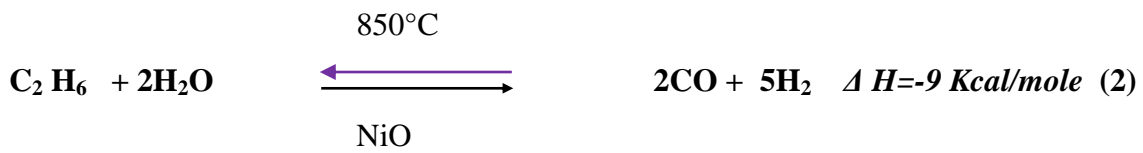


Figure II.6 : Four de reforming

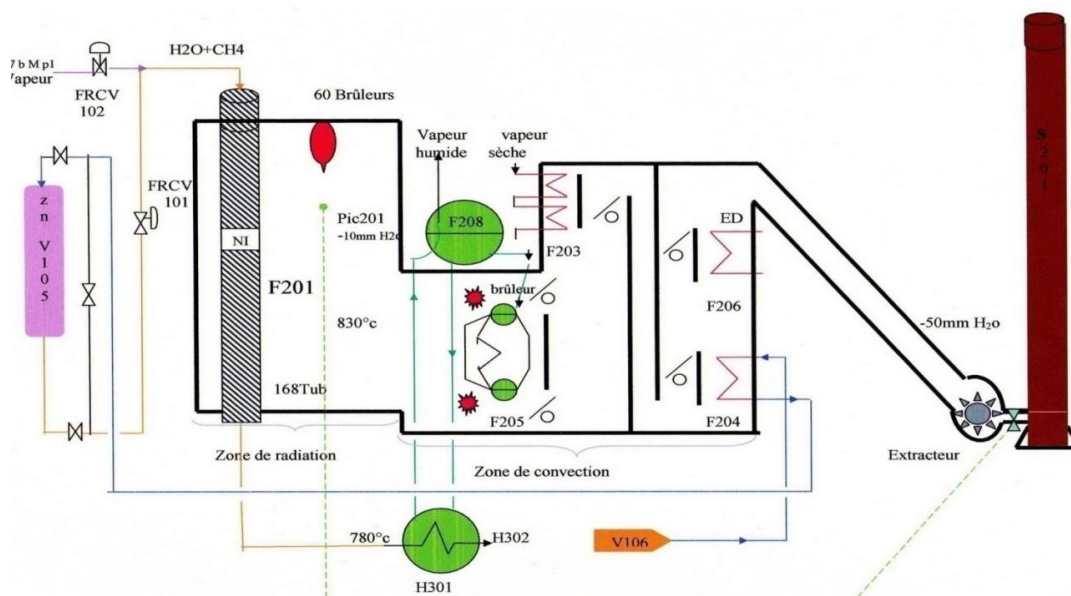


Figure II.7: Section 200 Four de reforming

II.4.3. Section 300 « Refroidissement Et Élimination de l'eau »

C'est la section de refroidissement et séparation de l'eau ; le gaz de synthèse fabriqué, passe par trois échangeurs (alimentés par l'eau froide provenant des tours de refroidissement, objet de notre étude) pour se refroidir, puis il passe par trois séparateurs pour éliminer l'eau condensée. Le gaz de synthèse sort de cette section s'écoule vers la section 400 avec une pression de 17 bar et une température de 35°C.

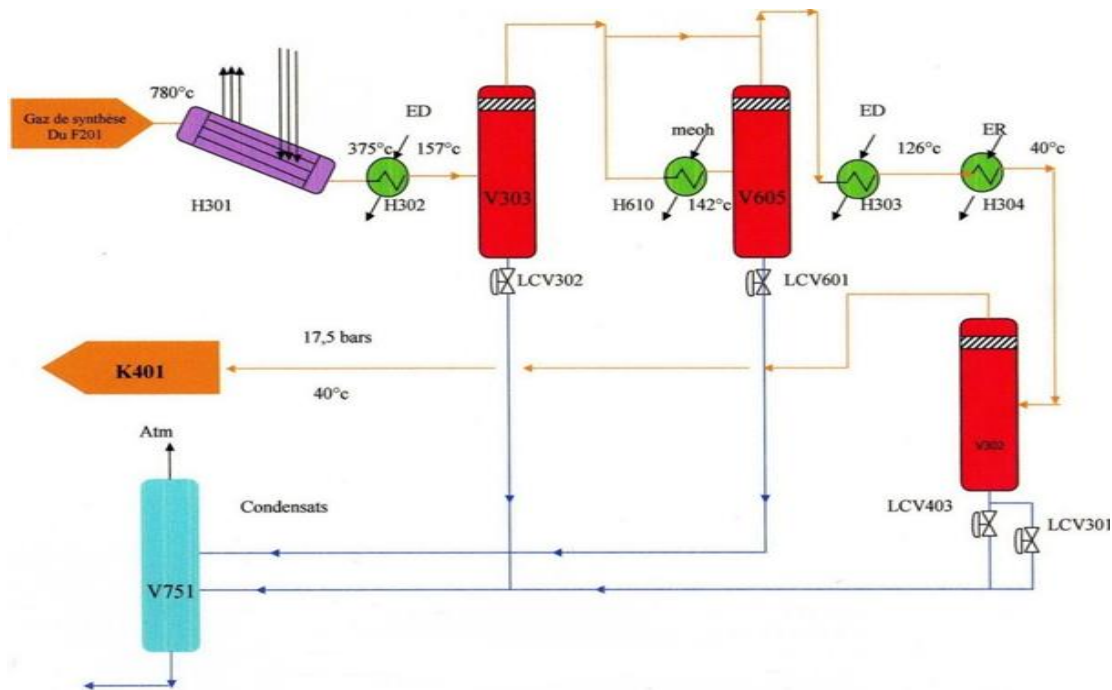


Figure II.8: Section 300 « refroidissement et séparation ».

II.4.4. Section 400 « Compression du gaz synthèse »

Le gaz de synthèse sortant du (V302) s'écoule vers le compresseur (K401) à une pression de 17,5 bar et à température 40 °C (ce gaz de synthèse doit être ramené à une température la plus basse possible grâce au système de refroidissement), sera comprimé à 50 bar à deux corps BP et HP .Ce compresseur est entraîné directement par une turbine (Q401) à vapeur HP = 80 bar. Le gaz sortant de compresseur (K401) est mélangé avec le gaz de purge. Sortant du séparateur (V502) de méthanol brute, à une température $T = 40^{\circ}\text{C}$. Le mélange passe dans une recirculation (K402) où il est comprimé à une Pression de 52 bar et une température $T=77^{\circ}\text{C}$.

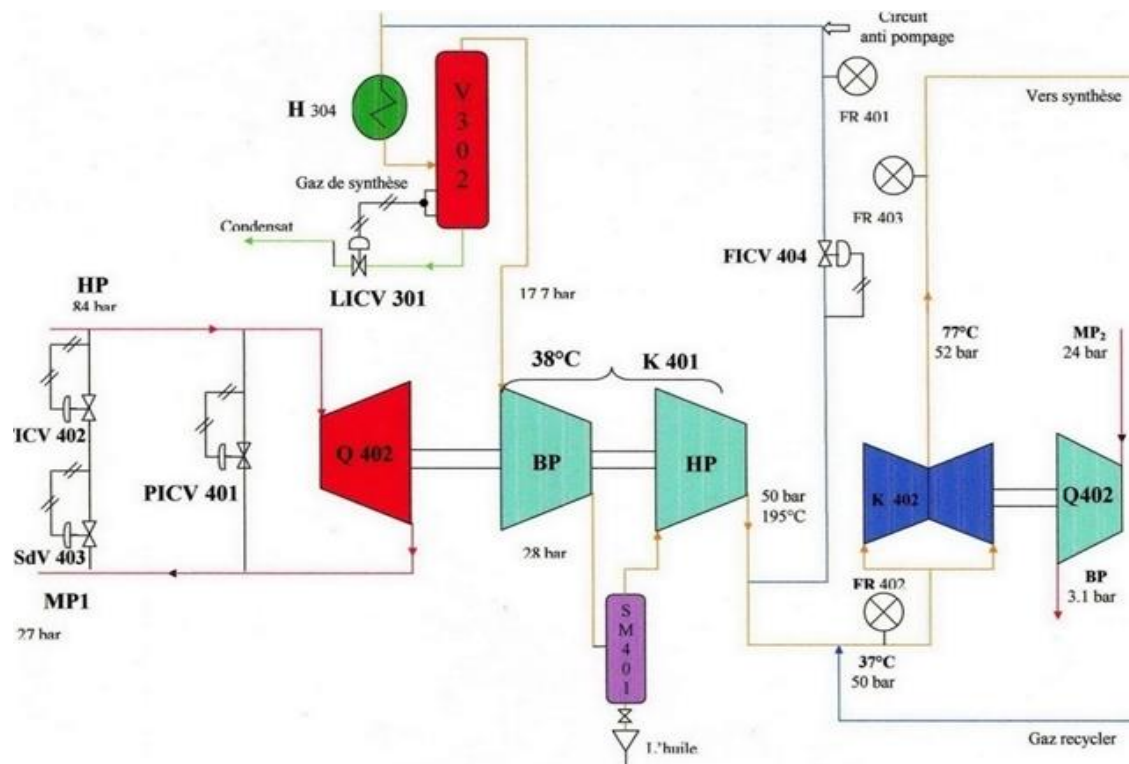
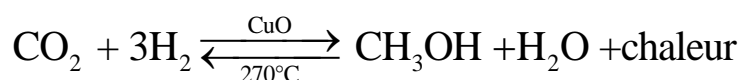
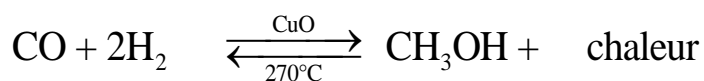


Figure II.9 : Section 400 « compression ».

II.3.5 Section 500 « Synthèse du méthanol »

La réaction de synthèse du méthanol s'effectue selon le procédé ici dans un réacteur adiabatique catalytique, Sous forme d'un récipient cylindrique verticale contenant 4 lits de catalyseur à base d'oxyde de cuivre CuO , et des températures de l'ordre de 210 à 270°C et pression de 50 bar.

La production de méthanol à partir de mélange de CO et CO_2 et H_2 peut être représentée sous une forme simplifiée par les réactions globales suivantes :



On obtient un taux de réaction suffisant pour donner environ 3% du méthanol dans l'effluent du réacteur avec un volume raisonnable de catalyseur.

D'abord le gaz de synthèse qui vient de la recirculation (K402) où il est comprimé à une Pression de 52 bar et une température $T=77^\circ\text{C}$ entre dans l'échangeur (H501) où il est réchauffé à 240°C par le gaz sortant du réacteur (V501) à 270°C , le mélange passe au-dessus du catalyseur où la température est augmentée davantage (réaction exothermique) donc

les températures de catalyseur sont maintenues à un maximum de 270°C par injection de gaz d'alimentation froid (gaz de quench).

Le gaz de synthèse sortant du (H501) à 130°C entre dans les aéros (H510) pour être refroidi à 50°C. Ce gaz entre dans un autre échangeur (H502) pour être refroidi à 35°C (refroidi par l'eau de refroidissement). Le gaz qui est refroidi entre dans les séparateurs (V502) et (V503) pour séparer le méthanol brut et le gaz qui n'a pas réagi.

Le séparateur (V502) sépare le gaz qui n'a pas réagi et le méthanol condensé. Une quantité du gaz envoyée vers le re-circulateur (K402) sous forme de gaz recyclé, une autre envoyée vers le compresseur (K401) sous forme de gaz d'étanchéité, une autre se mélange avec le gaz de procédé et la quantité restante (gaz de purge) se mélange avec le gaz combustible.

Le séparateur (V503) reçoit le méthanol provenant du (V502) pour s'épurer du gaz (gaz de purge) qui se mélange avec le gaz combustible. Le méthanol brut obtenu (contient 20% d'eau et 80% méthanol) s'écoule vers le bac de pré-stockage T 651 (le bac de cigare).

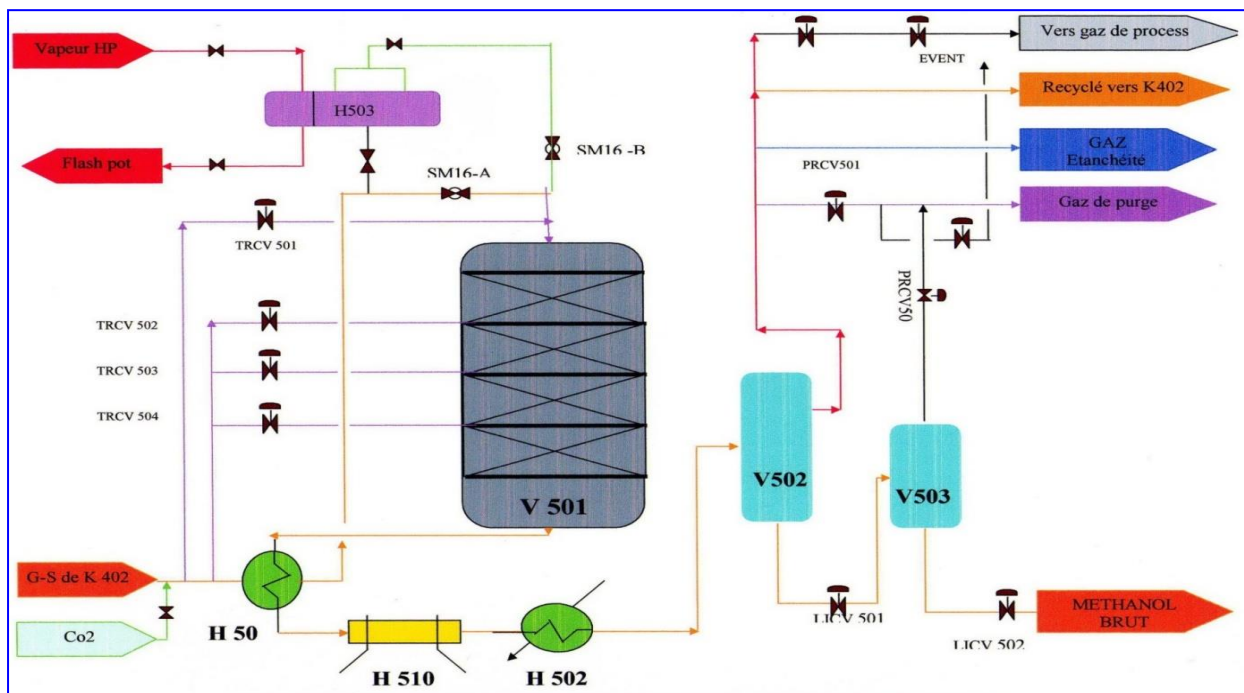


Figure II.10 : Section 500« Synthèse du méthanol ».

II.4.6. Section 600 « Distillation du méthanol brut »

La distillation du méthanol brut se passe dans deux colonnes :

I^{ère} colonne (Elimination des produits légers): V601

Une colonne avec 48 plateaux, pour l'élimination des gaz dissous dans le méthanol brut (CO₂, CO, H₂, CH₄, N₂).

II^{ème} colonne (Elimination des produits lourds): V602

Une colonne avec 63 plateaux, pour séparer l'eau et le méthanol pour obtenir un méthanol raffiné.

Le méthanol final est retiré de la tour aux plateaux N° 59 et 55 pour diverses raisons, les produits légers sont pas éliminés d'une manière efficace dans la colonne de séparation des produits légers (V601) et que leur concentration sur le plateau 59 est excessive. Le produit est refroidi jusqu'à environ 50°C dans un réfrigérant (H607) et passe aux réservoirs de méthanol raffiné T652a/b.



Figure II.11 : Colonnes de distillation (V601) et (V602).

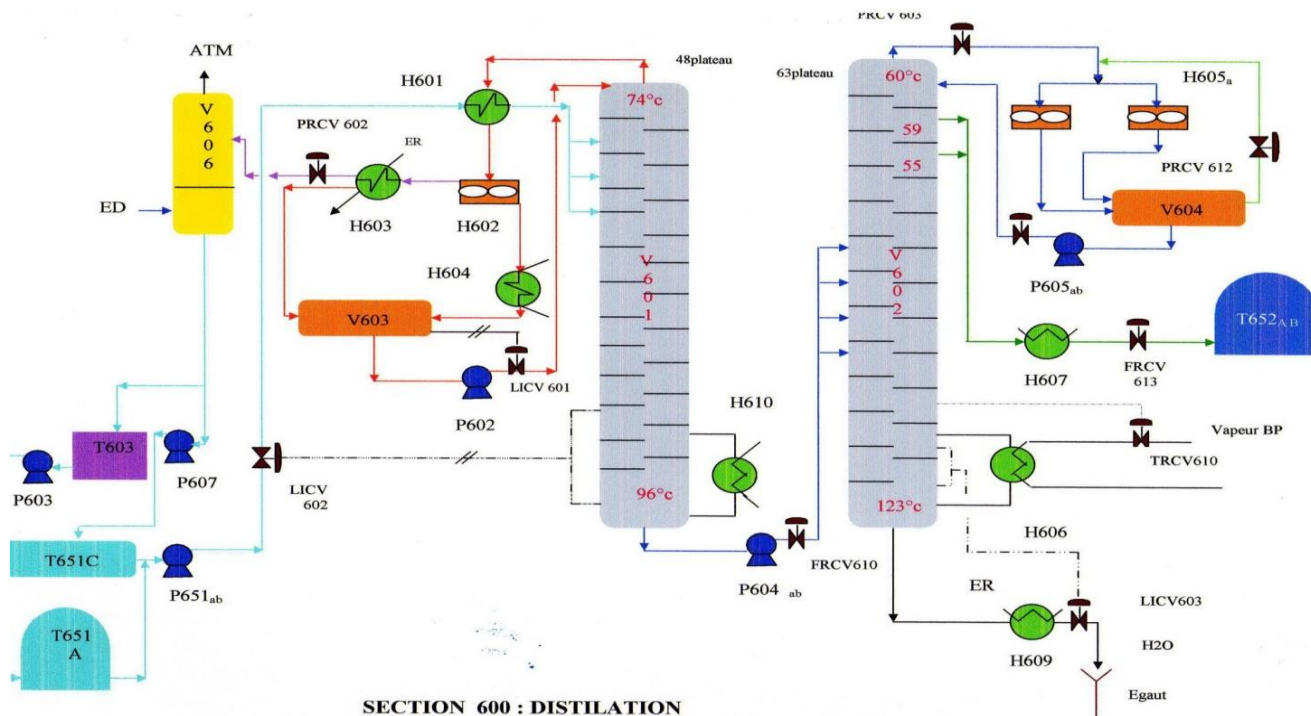


Figure II.12: Section 600 « Distillation du méthanol brut ».

II.4.7. Section 700 « Système de vapeur »

Le système vapeur est un système qui fournit la force motrice de l'unité en passant par les turbines économisant l'énergie électrique du compresseur, recylateur, extracteur, turbopompe, alimentation F 208, turbopompes de lubrification de compresseur et son étanchéité et surtout pour fournir la vapeur de reforming.

L'unité est conçue de façon que la plupart de la chaleur soit récupéré en un système économique d'énergie.

- HP : haute pression=84 bar.
- MP_{1et2} : moyenne pression. MP₁=30 bar, MP₂=24 bar.
- BP : basse pression=3,2 bar.

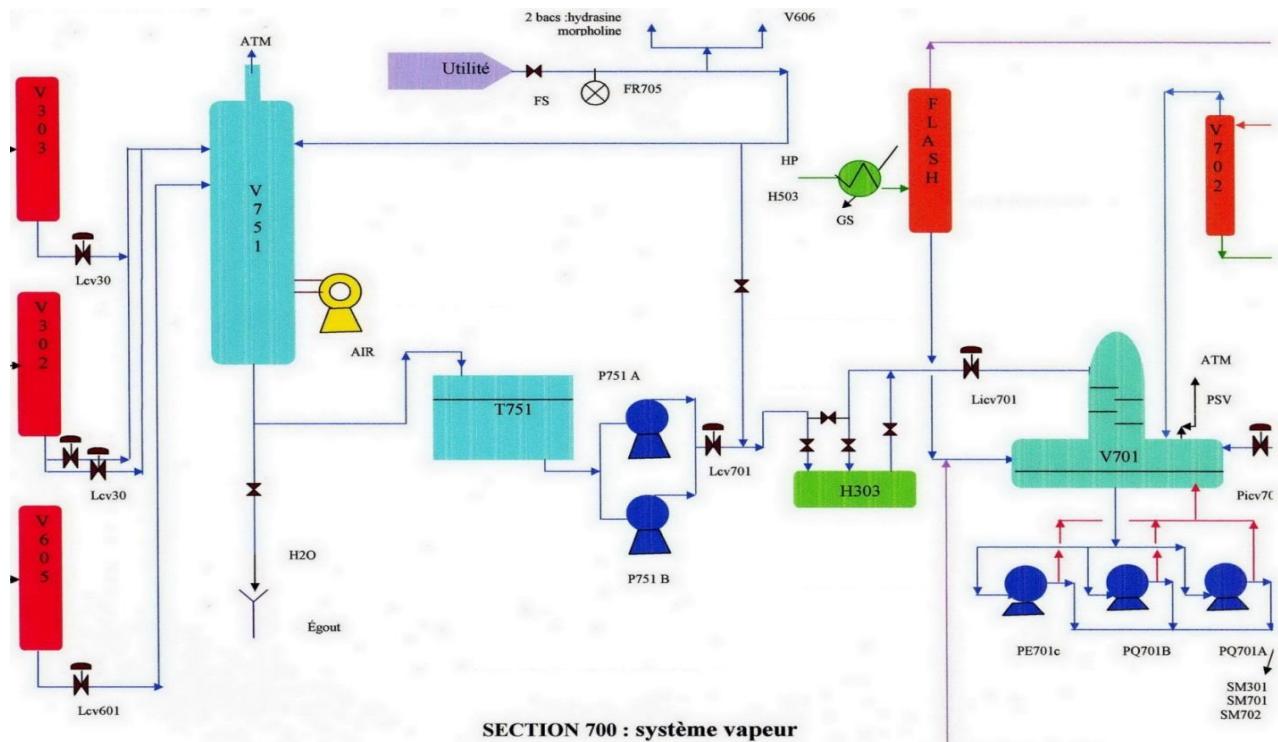


Figure II.13 : Section 700 « Système de vapeur »

II.5. Service de laboratoire [7] :

Ce que l'on demande, en premier à une société industrielle est la qualité de ces produits, Le laboratoire de CP1/Z, il est comme le laboratoire de n'importe quel complexe, représente le fruit de l'efficacité.

Il est jugement de la qualité des produits traité durant le procès, qu'il vielle au bon déroulement des unités de traitement des matières premières nécessaire à la fabrication et l'analyse des produits finis pour être commercialise soit à l'intérieur qu'à l'extérieur du pays.

II.5.1. Importance du laboratoire :

Le laboratoire représente le fruit de l'efficacité de n'importe quel complexe du fait qu'il est le jugement de la qualité des produits traiter durant le processif .Il veille au bon déroulement des unités de traitement de matière première et analyse des produits finis pour être commercialiser soit à l'intérieur du pays et de même pour l'exportation .

II.5.2. Le rôle de laboratoire :

Le laboratoire joue un rôle important dans l'industrie chimique et pétrochimique, il permet le suivi et le contrôle continu de la qualité des produits finis.

II.5.3. Les différentes sections de laboratoire :

Le laboratoire du CP1/Z est partagé en deux sections.

➤ Section contrôle :

- Analyse des Eaux.
- Analyse du Gaz de procédé.
- Analyse du Méthanol.

➤ Section des analyses chimiques :

- Préparation et standardisation de solution [7].

II.5.4. Les types d'Analyses [7]**II.5.4.1. Analyse du Méthanol**

- Apparence
- Couleur.
- Odeur.
- Densité à 20°C.
- Eau.
- Substances carbonisables.
- Acétone.
- Acidité (CH₃COOH).
- Hydrocarbures.
- Intervalle de distillation.
- Résidu non volatil.
- Test au KMnO₄.
- Pureté.

II.5.4.2 Analyse des gaz :

L'analyse des gaz se fait à l'aide d'une chromatographie en phase gazeuse est fondée sur les phénomènes d'adsorption et ou de partage. Elle est utilisée au sein du laboratoire afin de séparer et identifier les constituants du gaz de synthèse obtenu après cracking.

Tableau II.3 : Modèle d'un tableau pour analyses de gaz de synthèse.

Analyse	K401	K402	PURGE	FLACH
%N ₂	×	×	×	×
%CO	×	×	×	×
%CH ₄	×	×	×	×
%CO ₂	×	×	×	×
%H ₂	×	×	×	×

II.5.4.3. Analyse des Eaux :

Les analyses des eaux (traitement – contrôle) ont pour but de protéger l'instrument du complexe (l'installation) car certaines espèces comme le chlorure et le calcium sont des agents corrosifs, vu que le milieu doit être basique. C'est pour cela que les utilités ajoutent des produits pour augmenter et stabiliser le pH du milieu.

Les eaux qui sont utilisées pour la production du méthanol sont :

- Eaux déminéralisées (ED)
- Eaux semi déminéralisées (DOP)
- Eaux de refroidissement (ER)
- Eaux brut (EB)
- Eaux de chaudière (11F1)
- Eaux de chaudière (F208)
- Eaux gazeuse (V701)
- Eaux condensat (T751)

- Eaux condensat (11D₁)
- Dégazeur (11D₃)

II.6. Conclusion :

Dans ce chapitre on a cité les différentes unités qui existent dans le complexe CP1/Z, ainsi que le rôle de laboratoire pour entamer le 3^{ème} chapitre qui décrit le conditionnement d'un cycle de refroidissement.

CHAPITRE III
EAU DE REFROIDISSEMENT

III. Eau de refroidissement

III.1. Introduction :

Compte tenu des quantités de chaleur colossale libérées, l'industrie pétrochimique fait appel à des systèmes de refroidissements performants particulièrement les tours de refroidissement utilisant principalement l'eau dont la composition (sels dissous, impuretés, pH...) ont tendance à provoquer des dépôts qui ont un effet non négligeable sur la performance énergétique et sur la résistance des matériaux utilisés (la corrosion source de détérioration des matériaux). Ainsi le traitement de l'eau est d'une importance capitale

III.2. L'eau de refroidissement :

Un circuit de réfrigération doit fournir de l'eau froide à des échangeurs de chaleur dans lesquels des produits chauds sont refroidis ou condensés. A la sortie de ces échangeurs l'eau s'est réchauffée [8].

L'eau du circuit doit subir différents traitement pour débarrasser l'eau de ces « impureté »

III.2.1. Les différents traitements de l'eau de refroidissement

III.2.1.1. Traitements physiques :

Tableau III.1 : Traitements physiques.

But	Méthodes
Débarrasser l'eau des matières insolubles	Décantation, Filtration sur sable

III.2.1.2. Traitements chimiques :

Tableau III.2 : Traitements chimiques.

But	Méthodes
Alimenter le circuit en eau brute et travailler en pH libre	Conditionnement mixte antitartre et anticorrosion
Alimenter le circuit en eau brute avec pH contrôlé	Conditionnement mixte AT et AC.
Alimenter en eau volontairement incrustante	Conditionnement antitartre
Alimenter en eau volontairement agressive	Conditionnement anticorrosion

III.2.1.3. Traitement biologique :

Le traitement biologique est se fait pour but de débarrasser l'eau des bactéries responsables du processus de corrosion de certains métaux et également responsables de dépôts organiques importants dans les circuits.

Les principes d'un traitement bactériologique sont les suivants:

- Définir qualitativement les biocides actifs sur les bactéries du milieu infecté par réalisation d'antibiogrammes sur site (travail d'un spécialiste).
- Définir les dosages optimaux
- Le traitement s'effectue toujours selon le principe suivant:
 - Injection d'un dispersant dans l'eau du circuit
 - Après 2 ou 3 heures (selon volume en eau du circuit et débit recirculée), faire une injection choc d'un bactéricide
 - après 24 ou 48 heures, faire une injection d'un autre bactéricide en alternance.

L'injection de bactéricide en continu est vivement déconseillée car elle crée le phénomène de bactério-résistance des germes que l'on souhaite détruire.

Ce conditionnement est à fin de :

- ✓ Empêcher la croissance de micro-organismes d'algues, dont la prolifération peut conduire à des bouchages et à l'apparition de bactéries.
- ✓ Prévenir la formation de dépôts entartrant qui diminuent les performances des échangeurs.
- ✓ Protéger les équipements contre la corrosion [9].

III.2.2. Description sommaire de la tour de refroidissement :

Une tour de refroidissement fonctionne comme un échangeur de chaleur, par contact direct entre l'eau et l'air ambiant. Son efficacité repose sur la surface de contact entre l'élément liquide et l'air. Pour maximiser cette surface de contact, l'eau est diffusée en gouttelettes dans un courant d'air qui traverse la tour: c'est ainsi que la chaleur est évacuée dans l'air ambiant et que l'eau est refroidie [10].

III.2.3. Eléments constitutifs d'une tour de refroidissement :

Les principaux éléments constitutifs d'une tour de refroidissement classique sont :

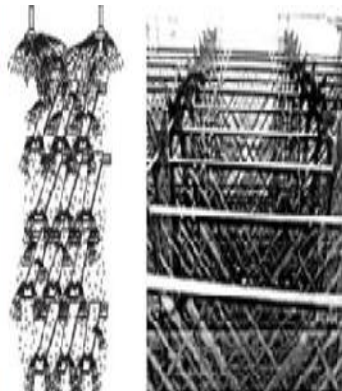
- **Un système de distribution d'eau** (rampes de pulvérisation) ; ensemble de tubes munis de disperseurs, situé à la partie supérieure de la tour de refroidissement destiné à amener l'eau en contact avec l'air. Les disperseurs (encore dénommés gicleurs) transforment le flux d'eau arrivant à la tour en gouttelettes qui se répartissent sur le corps d'échange de la tour de refroidissement).
- dont le rôle est de disperser de manière uniforme l'eau sous forme de gouttelettes,
- **Le corps d'échange** ou garnissage encore appelé "packing", dispositif au travers duquel se fait le transfert thermique entre l'air et l'eau,
- **Le pare-gouttelettes** (séparateur de gouttes) ensemble de chicanes, installé au sommet de la tour de refroidissement et destiné à retenir les gouttelettes d'eau pour limiter au maximum l'entraînement vésiculaire)
- **Les trappes de visite**, ouverture sur le corps de la tour aéro-réfrigérante permettant l'accès à l'intérieur et le contrôle visuel des différentes parties constitutives,
- Le bassin situé en partie basse de la tour servant à récupérer l'eau refroidie,
- **Le ventilateur** qui assure un écoulement continu d'air. Il peut être situé en partie haute ou basse de la tour aéro-réfrigérante,
- Eventuellement un ou plusieurs échangeurs et une pompe assurant la circulation de l'eau, pour les tours de refroidissement à double circuit ou pour les tours hybrides.



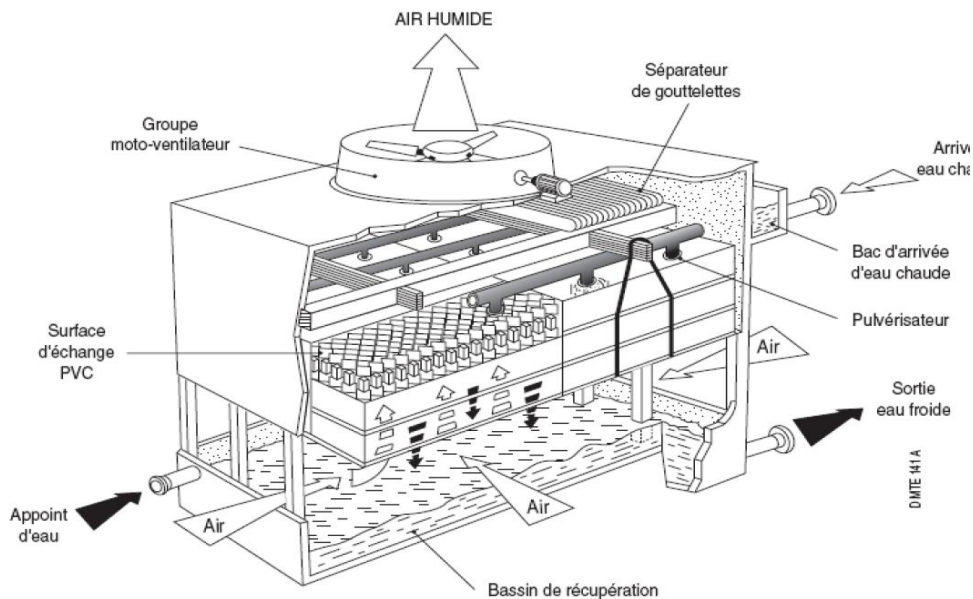
Séparateurs de gouttelettes



un pulvérisation



Garnissages de type à pointes



FigureIII.1: Tour de refroidissement

III.3. Différents types de circuits :

Parmi les procédés de réfrigération utilisés dans l'industrie, on distingue trois types

- Les circuits ouverts.
- Les circuits fermés.
- Les circuits semi-ouverts.

A- Circuit ouvert :

Dans un circuit ouvert l'eau froide est prélevée d'une mer, une rivière, un forage ou d'un réseau de distribution ; ne passe qu'une seule fois dans l'appareil à refroidir puis est rejetée dans le milieu environnant.

Les vitesses de circulation sont généralement élevées et de ce fait l'accroissement de température est faible. Il faut néanmoins lutter contre l'entartrage aux points chauds, lorsqu'on utilise des eaux fortement minéralisées.

Pour les eaux de rivières et de forage, on injecte une faible quantité de réactif à base de phosphate, et pour les eaux de mer fortement chargées en chlorures, on utilise uniquement du chlore pour éviter la prolifération des algues, des moules dues à la chaleur et la lumière.

Ces avantages sont la simplicité d'exploitation, le faible cout d'investissement.

Ces inconvénients sont la consommation excessive des produits chimiques et le traitement des rejets (température élevée). [11]

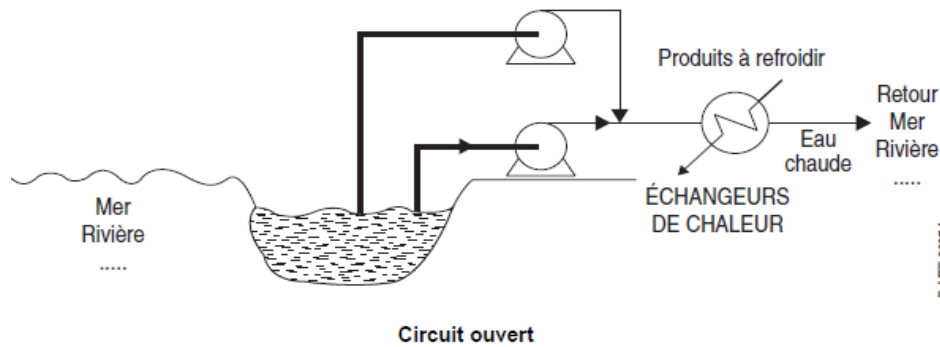


Figure III.2: Circuit ouvert

B- Circuit fermés:

L'eau circule en boucle fermée, une source froide, généralement un aéro-réfrigérant élimine la chaleur prise au procédé.

Mise à part les fuites il n'y a pas de consommation autre que le remplissage du circuit. Ceci nécessite un conditionnement chimique de l'eau fortement dosé. Ces avantages sont l'impact très faible sur l'environnement, le coût de l'eau et des réactifs négligeables et le peu de contrôle à effectuer.

Ces inconvénients sont un coût de construction très élevé, une consommation électrique très importante et un abaissement de température dans l'aéro-réfrigérant limité [11]

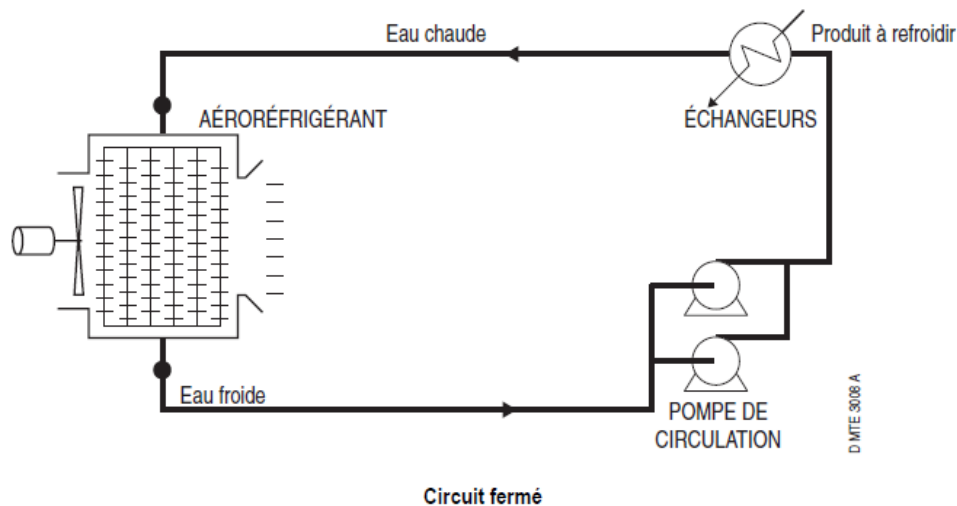


Figure:III.3 : Circuit fermés

C- Circuit semi ouvert (CP1/Z) :

L'eau chaude à la sortie des échangeurs est refroidie dans une tour de refroidissement par contact direct avec l'air ambiant. L'eau ruisselle sur un corps d'échange (un garnissage), pour être en contact avec l'air, est recueillie dans un bassin de récupération, reprise par des pompes de circulation et renvoyée dans le circuit.

Le transfert de chaleur de l'eau à l'air ambiant s'effectue par convection et par évaporation d'une partie de cette eau jusqu'à saturation de l'air en humidité.

Selon la température et l'humidité de l'air à l'entrée du réfrigérant 5% à 15% de la chaleur sont évacuée par convection.

La consommation d'eau correspond :

- 1- à l'évaporation,
- 2- aux purges de déconcentration, aux fuites.

Ces avantages sont la possibilité de gros débits, une faible consommation d'eau d'appoint, une consommation réduite de réactifs.

Ces inconvénients sont une surface au sol très importante, des frais d'investissement et de maintenance assez élevés. Les panaches de vapeur d'eau par temps froid ont un impact néfaste sur les équipements et l'environnement.[11]

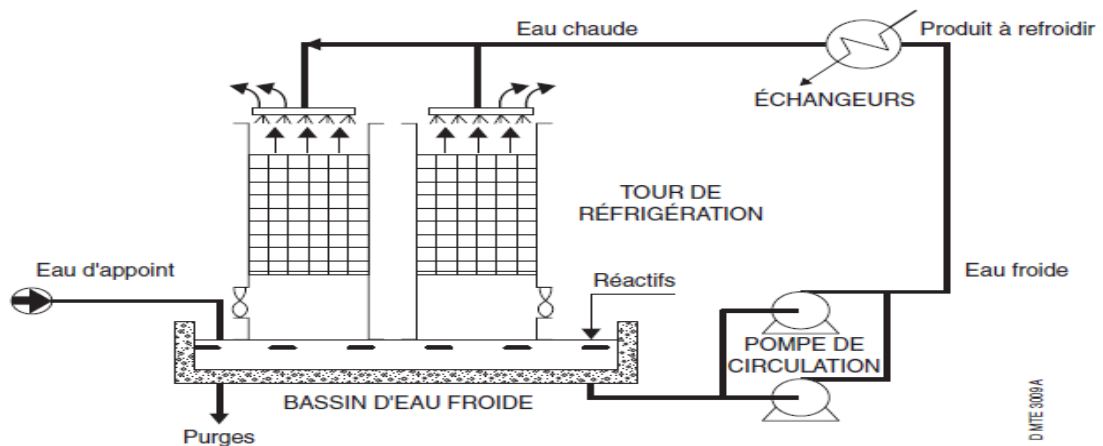


Figure III.4: Circuit semi ouvert(CP1\Z)

Nous avons décrit ci-dessus l'équipement principal par lequel s'effectue le refroidissement de l'eau, il serait judicieux de décrire très brièvement l'équipement ou s'opère le transfert de chaleur, les échangeurs de chaleur

III.4. Echangeurs de chaleur :

Le principe général consiste à faire circuler deux fluides à travers des conduits qui les mettent en contact thermique. Les deux fluides sont mis en contact thermique à travers une paroi qui est le plus souvent métallique ce qui favorise les échanges de chaleur. On a en général un fluide chaud qui cède de la chaleur à un fluide froid. Les deux fluides échangent de la chaleur à travers la paroi d'où le nom de l'appareil. Le principal souci consiste à définir une

surface d'échange suffisante entre les deux fluides pour transférer la quantité de chaleur nécessaire dans une configuration donnée. La quantité de chaleur transférée dépend de la surface d'échange entre les deux fluides mais aussi de nombreux autres paramètres ce qui rend l'étude de ces appareils assez complexe.

Chaque fois qu'il y aura une différence de température, une énergie sous forme de chaleur se propagera. La chaleur se transfère toujours de la substance la plus chaude à la plus froide.

En général, un échangeur est un appareil dans lequel la chaleur est échangée entre deux produits. La chaleur recueillie par le produit froid est un gain de combustible qui aurait été brûlé dans un four ou une chaudière et la chaleur dégagée par le produit chaud est un gain d'eau de refroidissement.

Dans les installations industrielles, il est souvent nécessaire d'apporter une quantité de chaleur importante à une partie du système. Dans la majorité des cas, la chaleur est transmise à travers un échangeur de chaleur. On estime à 90% la part des transferts d'énergie réalisée par les échangeurs de chaleur dans l'industrie.

$$Q = M_1 C_{P1} \Delta T_1 = M_2 C_{P2} \Delta T_2 = U S (DTLM).$$

Le transfert de chaleur va dépendre de :

- Des températures d'entrée et de sorties.
- Des caractéristiques thermiques des fluides (chaleurs spécifiques, conductivité thermique).
- Des coefficients d'échange par convection etc.

Et la quantité de chaleur transmise au cours d'un échange dépend :

- De la surface de l'échange (conductibilité du métal, nombre de passes et chicanes).
- De l'écart de température (ΔT entre les deux fluides).
- De la nature des corps en présence (chaleur spécifique).
- De la durée de l'échange (débit, quantité). [12]

III.4.1. Echangeur tubulaire à faisceau et calandre :

Ce type d'échangeurs est de loin le plus répandu dans les unités de transformations des industries chimiques et pétrochimiques (cp1/z). Un faisceau de tubes est situé à l'intérieur d'une calandre dans laquelle circule le deuxième fluide. Cette conception se retrouve également dans les condenseurs, les rebouilleurs.

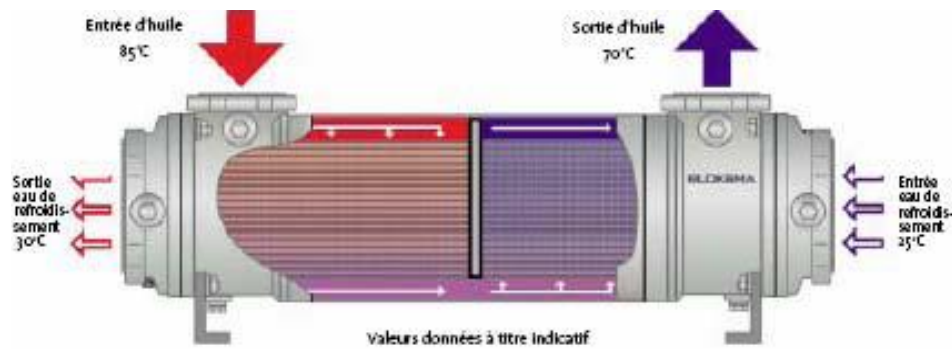


Figure:III.5 : Un échangeur tubulaire

III.5. Les problèmes rencontrés dans un circuit de refroidissement à eau recirculée :

Les problèmes rencontrés dans un circuit de refroidissement à eau re-circulée sont principalement :

- L'entartrage
- La corrosion
- L'encrassement biologique



Figure III.6: Corrosion CP1/Z



Figure III.7: Corrosion CP1/Z



Figure III.8: L'entartrage



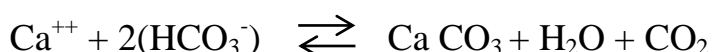
Figure III.9: L'encrassement biologique

III.5.1. L'entartrage :

Les eaux naturelles ne sont en fait pas pures et contiennent différents éléments chimiques dissous dont le plus fréquent est le bicarbonate (hydrogénocarbonate) de calcium.

L'équilibre pratique de ce sel avec le dioxyde de carbone est régi par des lois assez complexes et son déplacement peut créer des réactions chimiques de dissolution de carbonate de calcium (ou agressivité) ou d'entartrage qui peuvent se superposer aux réactions simples électrochimiques de corrosion qui sont spécifiques des métaux.

Le bicarbonate de calcium, inconnu à l'état solide, existe à l'état instable en solution aqueuse ; il tend à perdre de l'acide carbonique et à précipiter le calcaire :



Pour maintenir le bicarbonate de calcium en solution, il est nécessaire d'introduire une certaine quantité de CO₂ libre dit équilibrant, qui fait rétrograder la réaction de précipitation.

Une eau naturelle peut contenir du CO₂ libre en quantité supérieure à celle nécessaire au maintien du bicarbonate de calcium en solution.

Lorsque la quantité de CO₂ libre est inférieure au CO₂ équilibrant, l'eau est incrustante [14].

III.5.2. La corrosion :

La corrosion métallique consiste en la disparition partielle du métal par réaction chimique avec le milieu environnant. Il existe diverses formes de corrosion, mais, dans le cas des circuits de réfrigération, la corrosion la plus critique est celle de la corrosion électrochimique du fer par l'eau.

En effet le fer a tendance à s'ioniser à l'état de Fe^{++} en présence d'eau, cette ionisation libérant deux électrons par atome de fer ionisé : $Fe \rightarrow Fe^{++} + 2e^-$

Les électrons ainsi libérés parcourent le métal et vont créer une charge négative à quelque distance des ions ferreux. En présence d'oxygène et d'eau, ils donnent naissance à des ions hydroxydes OH^- .

D'après la réaction :

$H_2O + 1/2 O_2 + 2e^- \rightarrow 2OH^-$ La recombinaison des ions Fe^{++} et de OH^- donne des hydroxydes de fer $Fe(OH)_2$ et $Fe(OH)_3$ qui se déposent au niveau de la première apparition des ions ferreux[13].

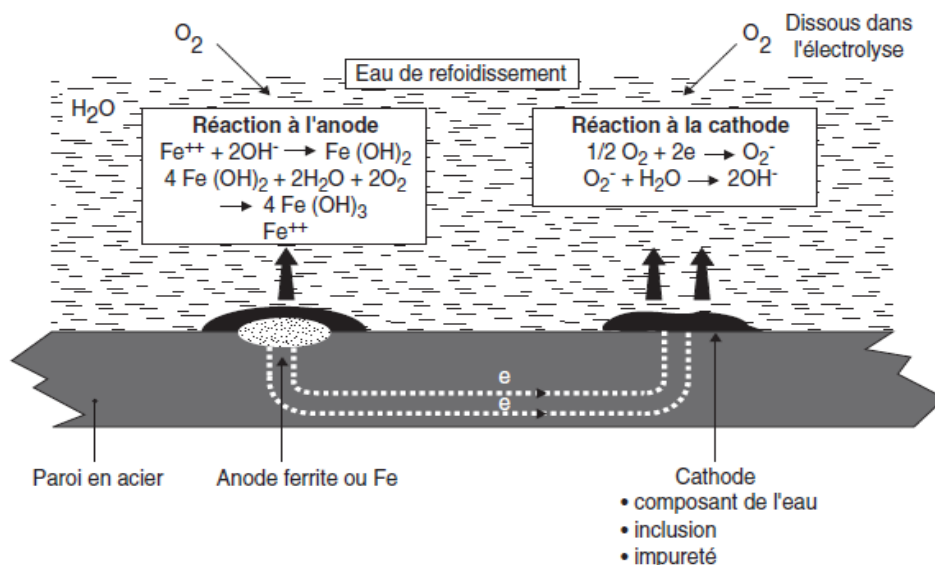


Figure III.10: Phénomène de corrosion

III.5.3.L'encrassement biologique :

L'encrassement biologique est constitué par un film d'épaisseur variable sur des points à température relativement constante et proche de la température la plus favorable à la reproduction des micro-organismes (35 à 40 °C). Plage de température correspondante à la plage de fonctionnement des tours de refroidissement. Ce "dépôt" est très peu conducteur de la chaleur et constitue une barrière isolante entre l'eau qui refroidit et le fluide à refroidir; le

rendement des échanges est donc fortement affecté. Le coefficient global de transfert de chaleur est donc réduit, sans que pour cela il y ait nécessairement de l'entartrage des surfaces d'échangeurs.

Un autre inconvénient de l'encrassement biologique est que la surchauffe locale des surfaces des échangeurs réduit la solubilité de certaines compositions salines lesquelles sont possibles en fonction de la charge ionique de l'eau; ce sont, en particulier, la formation d'insolubles alcalinoterreux, lorsque la température de la lame d'eau léchant le métal augmente. Ainsi un encrassement biologique peut conduire à un entartrage,

III.5.4. Les trois phénomènes (corrosion, entartrage, l'encrassement biologique) :

Puisque les circuits de refroidissement ont pour mission de refroidir des produits ou des unités de process par l'intermédiaire d'échangeurs de chaleur, l'on conçoit que le rendement d'échange soit un point important au niveau du rendement global des unités, donc de la production.

Ainsi, tout phénomène ou processus capable de diminuer ce rendement doit être maîtrisé: c'est le cas de l'entartrage et l'encrassement biologique.

Ainsi également, toute action de l'eau susceptible de dégrader les matériaux constitutifs des installations, dont le cout économique pourrait être exorbitant particulièrement les échangeurs de chaleur, et la tuyauterie doit être également maîtrisée: c'est le cas de la corrosion chimique ou bactérienne [8].

III.5.4. Corrosions et entartrage sur les circuits d'eau et de chaudières :

Les clichés présentés dans la figure III.4 permettent une meilleure visualisation des corrosions industrielles sur les circuits de refroidissement et dans les chaudières.

Les dégradations peuvent être considérables; il faut toutefois bien tenir compte du fait que les corrosions ne proviennent pas seulement de l'eau mais peuvent être générées côté process et aboutir à des percements.

Si le hasard veut que des corrosions aient lieu à la fois côté eau et côté process, le délai de perçement s'en trouve augmenté et si un examen attentif n'est pas réalisé par le service inspection de l'usine ou par le spécialiste présent sur place, suivant que l'eau circule à l'intérieur ou à l'extérieur des tubes, l'on peut se tromper sur le diagnostic d'origine de la corrosion.

L'appréciation de la corrosion est donc un travail d'attention de toutes les surfaces d'un matériel s'il est baigné de part et d'autre par des fluides différents (eau et hydrocarbures par exemple)[14]

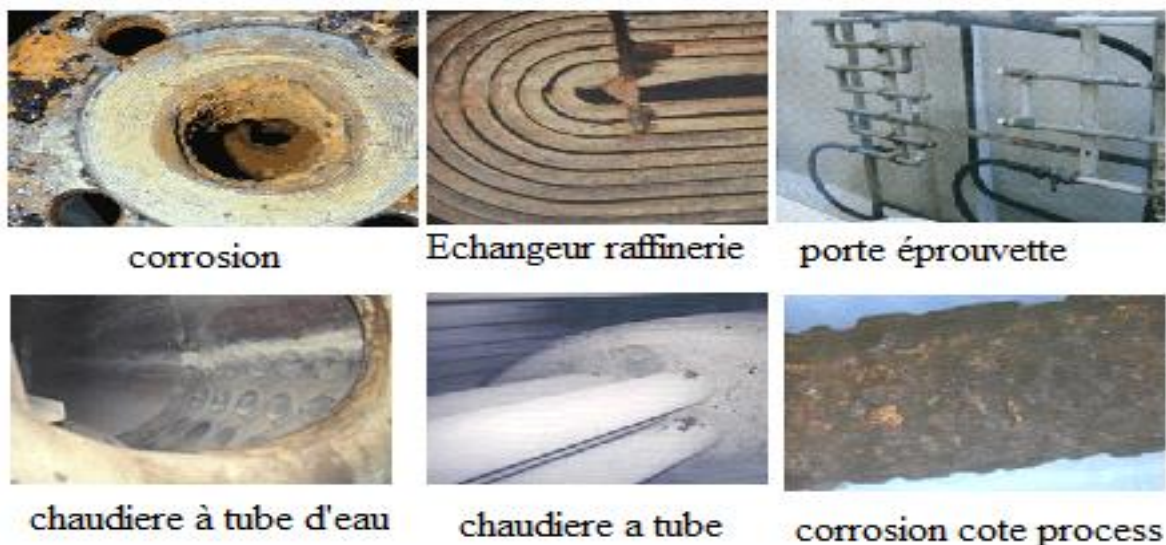


Photo III.11: Corrosions et entartrage sur circuits d'eau et chaudières.

III.5.4.1. L'encrassement et l'entartrage des échangeurs de chaleur par l'eau

➤ **But:**

Prévoir, sans ouvrir un échangeur, la date à laquelle il sera nécessaire de le nettoyer, donc de l'arrêter.

➤ **Avantage :**

- La méthode permet la programmation d'arrêts partiels des unités donc, une optimisation des rendements ainsi qu'une bonne gestion de la production

➤ **Principe:**

Faire le relevé des valeurs permettant la mesure des paramètres de calcul du coefficient global d'échange de l'appareil (Hg en Kcal/h.m20 °C).



Figure III.12: Exemples d'échangeurs sale et propre.

III.5.4.2. Rappel sur la mesure du coefficient d'échange :

Le degré d'encrassement des échangeurs de chaleur s'apprécie par la mesure du coefficient global de transfert de chaleur. L'évolution de ce paramètre dans le temps est une réplique fidèle de l'évolution de l'état physique des surfaces d'échange, tant du côté eau que du côté fluide refroidi. Ceci permet donc de pouvoir imputer un salissaiement, non pas seulement au circuit d'eau, mais également au circuit "process", ce qui n'est toujours pris en compte par les exploitants, surtout lorsqu'il faut faire vite lors d'un arrêt et qu'il n'est pas toujours facile de visiter les deux "faces" des surfaces d'échange [13].

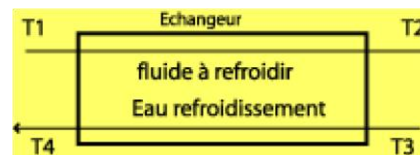
Soit:

T1 : Température entrée procédé

T2: Température sortie procédé.

T3: Température entrée eau

T4 : Température sortie eau



La température moyenne logarithmique de température a pour valeur:

$$DTLM = \frac{(T1 - T4) - (T2 - T3)}{\ln \frac{T1 - T4}{T2 - T3}}$$

III.5.4.3. Evolution de l'encrassement des échangeurs de chaleur par l'eau de refroidissement :

Les échangeurs de chaleur alimentés par l'eau de refroidissement sont à nettoyer périodiquement afin de maintenir de bons coefficients globaux d'échange.

Quel que soit le traitement de l'eau, et le soin apporté à sa mise en œuvre, le nettoyage doit se faire régulièrement, l'écart de temps séparant deux nettoyages successifs devant être le plus long possible.

Le but du conditionnement de l'eau de refroidissement contre l'entartrage (et la corrosion) est d'espacer au maximum les nettoyages chimiques ou mécaniques des appareils, et ceci pour plusieurs raisons:

1. Quand un appareil est arrêté, il ne produit pas. Perte de production, donc diminution du chiffre d'affaire
2. Quand un appareil est "sale"(entartré), le rendement d'échange diminue, il est nécessaire de réajuster les paramètres de production donc diminution du taux de "production" de l'unité
3. Un nettoyage est une opération coûteuse, laquelle réalisée dans de mauvaises conditions, peut provoquer des dégradations des surfaces métalliques et des équipements [15].

III.6.Conclusion :

Différents problèmes sont rencontrés en présence des eaux minéralisées ou polluées biologiquement (par nature ou par apport extérieur) conduisant à l'entartrage, la corrosion ou les proliférations organiques. Plusieurs traitements peuvent être solution de ses problèmes : traitement chimique, physique ou biologique qui sera abordés dans le chapitre pratique.

CHAPITRE IV
PARTIE EXPERIMENTAL

IV. Partie expérimental

IV.1. Introduction :

L'étude d'ingénierie des unités pétrochimiques recommande des valeurs de fonctionnement design des équipements pour CP1/Z voir (Tableau IV.1) ci-dessous :

Tableau IV.I : Spécification du l'eau brute et l'eau de refroidissement selon le design du méthanol [16].

	L'eau brute	L'eau de refroidissement	Unité
pH à T=20°C	7,80 – 8,4	7,80 – 8,4	-
Conductivité	50-600	50-600	<i>u s</i>
Taux de sel (TDS)	100 >	150 >	ppm
Titre alcalimétrique complet (TAC)	12 >	10 >	°F
Titre hydrométrie (TH)	80 >	60 >	ppm
Chlorure [Cl ⁻]	30 >	60 >	ppm
Silice [SiO ₂ ⁻²]	0,04 >	0,04 >	ppm
Calcium [Ca ⁺⁺]	20 >	15 >	ppm
Magnésium [Mg ⁺⁺]	60 >	45 >	ppm

IV.2. Echantillonnage :

Le prélèvement de l'échantillon d'eau à analyser représente une phase très importante dans le procédé analytique, il doit être donc effectué minutieusement afin d'assurer que l'échantillon recueilli soit dans le design.

Avant d'analyser l'échantillon doit passer par différentes étapes :

1. Faire couler l'eau pendant 10 minutes.
2. Bien rincer les flacons au moins trois fois.
3. Mettre en marche le bain thermostatique pour refroidir l'échantillon à une température 20°C.
4. Chaque flacon doit porter la mention (date et heure de prélèvement).

IV.3. Analyses physico-chimique des eaux :

Les méthodes d'analyse physico-chimique sont été appliquées en utilisant des appareils électrique de mesure tel que pH mètre et conductimètre.

IV.3.1. pH à T= 20°C

C'est la mesure du potentiel H^+ (différence de potentiel) déterminé l'acidité ou basicité d'une solution.

➤ Utilisation du pH mètre :

- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée (deux ou trois fois).
- Etalonner le pH avec la solution tampon (pH= 4, pH=7, pH=10).
- Régler la température à 20°C.
- Plonger l'électrode dans la solution à mesurer.
- Faire la lecture.

Remarque :

Toutes les analyses qu'on a faites sont été réalisées durant 15 jours sur l'eau brute et l'eau de refroidissement.

➤ Résultat :**Tableau IV.2 :** rassemble les résultats d'analyses du pH :

	1 ^{er}	2 ^{eme}	3 ^{eme}	4 ^{eme}	5 ^{eme}	6 ^{eme}	7 ^{eme}	8 ^{eme}	9 ^{eme}	10 ^{eme}	11 ^{eme}	12 ^{eme}	13 ^{eme}	14 ^{eme}	15 ^{eme}
EB	7,68	7,73	7,55	7,51	8,02	8,01	7,65	7,66	7,76	7,76	7,77	7,95	7,95	8,01	7,65
ER	8,23	8,14	8,31	8,35	8,27	8,38	8,24	8,21	8,12	7,86	7,93	8,08	8,1	8,4	8,35

On trace le graphe (Figure IV.1) correspondant aux résultats d'analyse pH :

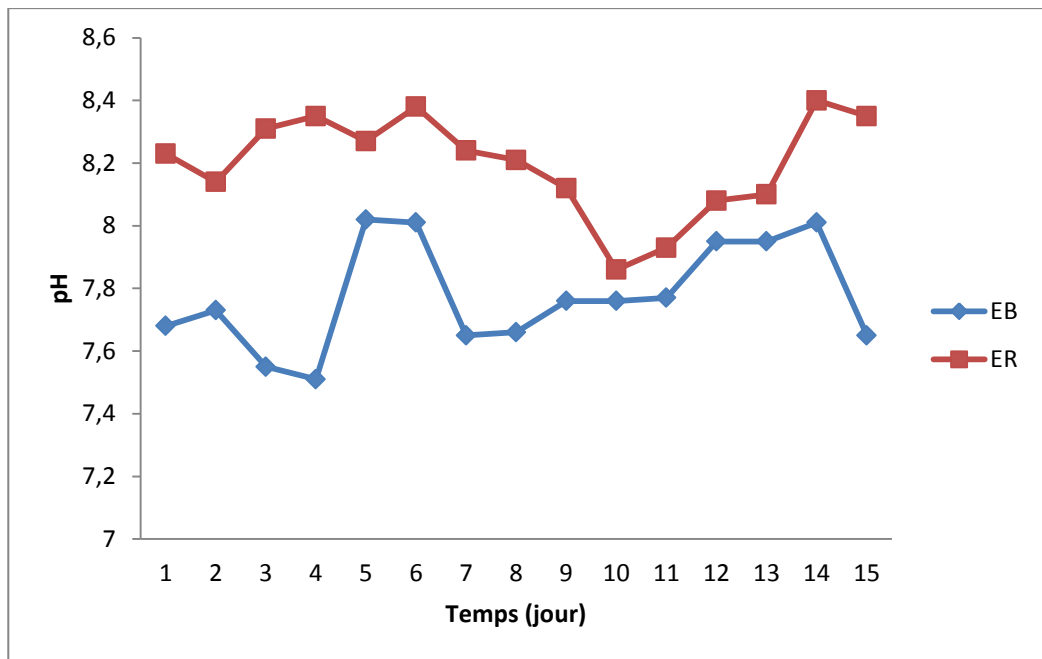


Figure IV.1 : Variation du pH en fonction du temps (jour).

Interprétation des résultats:

Les résultats (Figure IV.1) sont globalement conformes au design pour l'eau brute et l'eau de refroidissement, on remarque que la valeur du pH de l'eau de refroidissement est légèrement alcaline par rapport au design du méthanol qui est comprise entre 7,86 et 8,86, ce qui montre que cette eau répond bien au design de l'unité (eau de bonne qualité).

IV.3.2. La Conductivité :

C'est une mesure qui indique l'aptitude d'un corps à conduire plus au moins le courant électriques.

On mesure les conductivités d'une eau pour savoir s'il y'a présence des ions des sels Mg^{++} et Ca^{++} pour éviter la formation de tarte (présence d'ion carbonate et bicarbonate au niveau de tuyauterie des installations). Elle est mesurée en $\mu S/cm$ à T ($^{\circ}C$).

➤ Utilisation du conductimètre :

On utilise la même méthode que le pH mètre, mais il faut étalonner le conductimètre.

L'étalonnage de conductimètre se fait par une solution de KCl de conductivité connue.

➤ **Résultat :**

Les résultats d'analyses de la conductivité sont rassemblés dans le tableau suivant :

Tableau IV.3 : Les résultats d'analyses de la conductivité (en μs).

jour	1 ^{er}	2 ^{eme}	3 ^{eme}	4 ^{eme}	5 ^{eme}	6 ^{eme}	7 ^{eme}	8 ^{eme}	9 ^{eme}	10 ^{eme}	11 ^{eme}	12 ^{eme}	13 ^{eme}	14 ^{eme}	15 ^{eme}
EB	120	120	160	150	130	130	120	150	140	150	155	140	150	190	180
ER	290	270	310	370	360	360	350	360	260	280	285	250	250	360	350

On trace le graphe (Figure IV.2) correspondant aux résultats d'analyse de la conductivité.

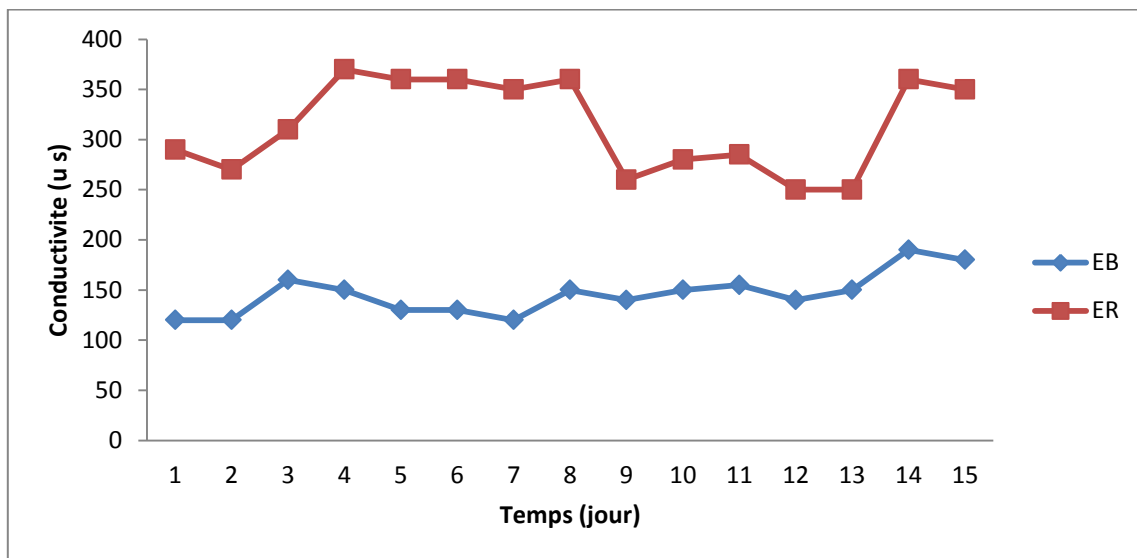


Figure IV.2 : Variation de la conductivité en fonction du temps (jour).

Interprétation des résultats :

D'après les résultats (Figure IV. 2) indiqués sur le tableau on remarque que l'eau brute a une conductivité faible par rapport à l'eau de refroidissement, par contre la conductivité est assez élevée pour les deux types d'eaux (eau brute et eau de refroidissement) par rapport aux design du méthanol, ceci s'explique que ces eaux sont très chargées en minéraux tel que : sulfates, phosphates, chlorures ... etc.

IV.3.3. Le taux de sel (TDS) :

La mesure de taux de sel (TDS) se fait à partir de la conductivité.

$$\text{TDS} = 2 \times \text{Conductivité} / 3.$$

➤ **Résultat :**

Le tableau IV.4 rassemble les résultats d'analyses du TDS :

Tableau IV.4 : Les résultats d'analyses pour le TDS (en ppm).

jour	1 ^{er}	2 ^{eme}	3 ^{eme}	4 ^{eme}	5 ^{eme}	6 ^{eme}	7 ^{eme}	8 ^{eme}	9 ^{eme}	10 ^{eme}	11 ^{eme}	12 ^{eme}	13 ^{eme}	14 ^{eme}	15 ^{eme}
EB	80	80	103	100	87	87	80	100	93	100	103	93	100	127	120
ER	193	180	206	246	240	240	233	240	173	187	190	167	167	240	233

On trace le graphe (Figure IV.3) correspondant aux résultats d'analyse

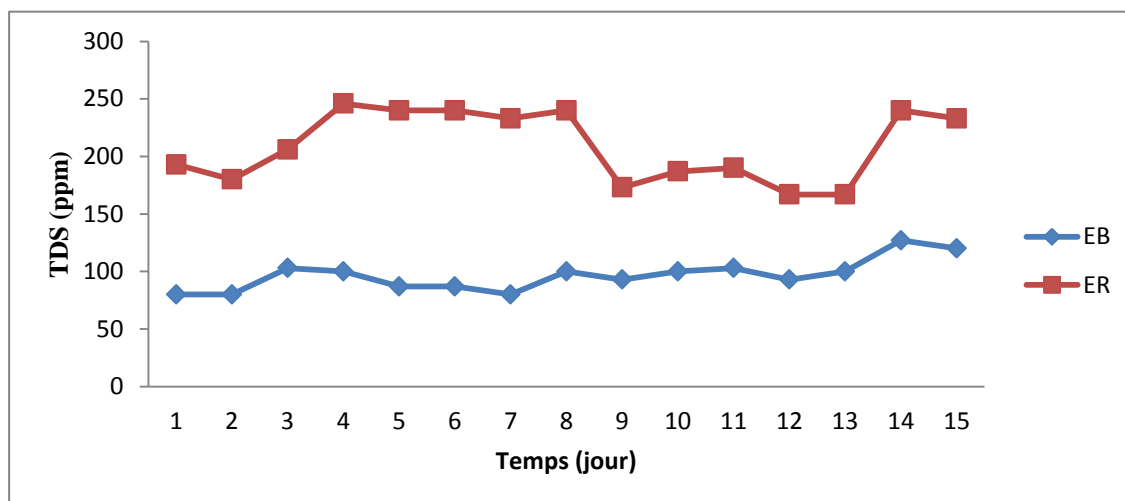


Figure IV.3 : Variation du TDS en fonction de temps (jour).

Interprétation des résultats

D'après les résultats (Figure IV.3) obtenus on remarque que le taux de sel de l'eau brute est faible par rapport à l'eau de refroidissement, par contre on remarque que le taux de sel est assez élevée pour l'eau de refroidissement par rapport aux design du méthanol, ceci s'explique par une quantité forte de sel.

IV.4. Analyse volumétrique :

On appelle méthode volumétrique un dosage qui met en jeu des solutions différentes, une des solutions sert spécialement comme réactif pour un complexe ou un couple de sels qui a la propriété de se déposer.

IV.4.1. Détermination du titre alcalimétriques complet (TAC) :

➤ principe

Correspond au point de neutralisation caractérisé par le passage de méthyle orange de la couleur rouge brique, il correspond à la neutralisation des bicarbonates au plus précisément à la moitié des carbonates et les bicarbonates initiaux présentes.

➤ Manipulation

On prend 100 ml d'échantillon puis on ajoute quelques gouttes de méthyle orange et on titre avec H_2SO_4 (0,02N). Le changement de couleur se fait du jaune au rose violet. [7]

➤ Expression des résultats

TAC = volume de H_2SO_4 coulé x 2.

Le tableau IV.5 rassemble les résultats d'analyses du TAC.

Tableau IV.5 : Les résultats d'analyses pour le TAC (en °F).

jour	1 ^{er}	2 ^{eme}	3 ^{eme}	4 ^{eme}	5 ^{eme}	6 ^{eme}	7 ^{eme}	8 ^{eme}	9 ^{eme}	10 ^{eme}	11 ^{eme}	12 ^{eme}	13 ^{eme}	14 ^{eme}	15 ^{eme}
EB	7	7	7	7	7	6	6	7	7	6	7	6	6	6	6
ER	12	11	10	11	11	10	10	11	11	10	10	11	9	11	11

On trace le graphe (Figure IV.4) correspondant aux résultats d'analyse du TAC.

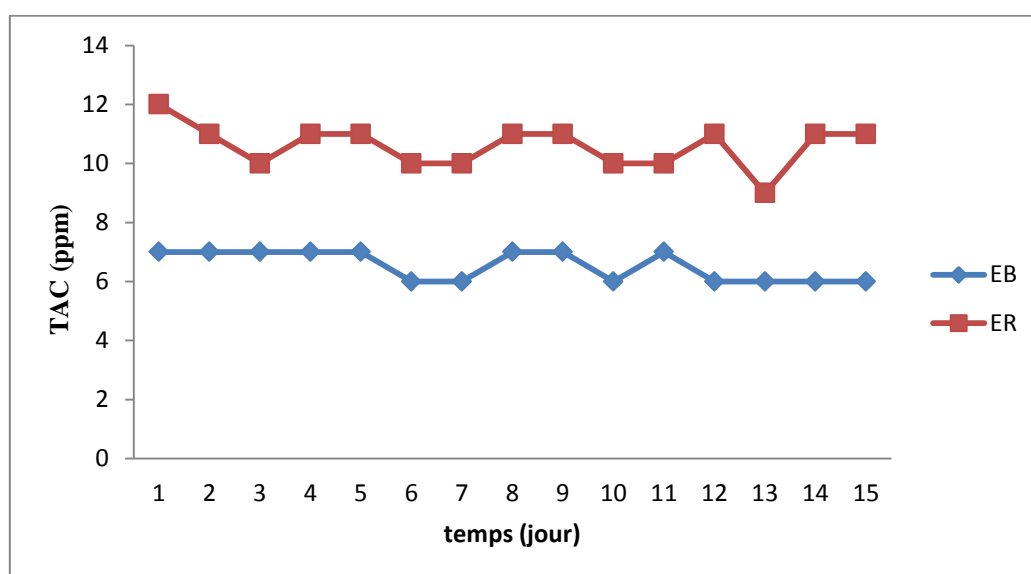


Figure IV.4 : Variation du TAC en fonction temps (jour).

Interprétation des résultats

D'après le graphe (Figure IV.4) on remarque que les résultats du TAC d'eau brut sont dans les normes, mais par contre pour l'eau de refroidissement les résultats sont hors aux design du méthanol.

Cela est dû probablement à des purges non conformes aux débits recommandés

IV.4.2. Titre hydrométrie (TH) :

> Principe

TH (titre hydrotimétrie) est basé sur une réaction dite complexe cette méthode est utilisée pour déterminer la dureté de l'eau et cela en précisant la concentration des ions Ca^{++} et Mg^{++} dissout avec le sel di sodique de l'acide éthylène –diamine- tétra étique.

> Manipulation

On prend 100 ml d'échantillon dans un erlenmeyer, ajouter 10 gouttes de solution tampon quelque gouttes l'indicateur de N.E.T et on dose avec l'EDTA (0,02N). [7]

> Expression des résultats

$$\text{TH} = V_{\text{EDTA coulée}} \times 20.$$

Les résultats d'analyses du titre hydrométrique dans l'eau brute et l'eau de refroidissement sont rassemblés dans le tableau suivant :

Tableau IV.6 : Les résultats d'analyses pour le Titre Hydrométrie TH (en ppm).

jour	1 ^{er}	2 ^{eme}	3 ^{eme}	4 ^{eme}	5 ^{eme}	6 ^{eme}	7 ^{eme}	8 ^{eme}	9 ^{eme}	10 ^{eme}	11 ^{eme}	12 ^{eme}	13 ^{eme}	14 ^{eme}	15 ^{eme}
EB	48	56	68	60	60	52	50	60	58	52	54	54	58	52	50
ER	100	90	100	104	104	110	100	92	90	96	94	98	76	98	100

On trace le graphe (Figure IV.5) correspondant aux résultats d'analyse du titre hydrométrique.

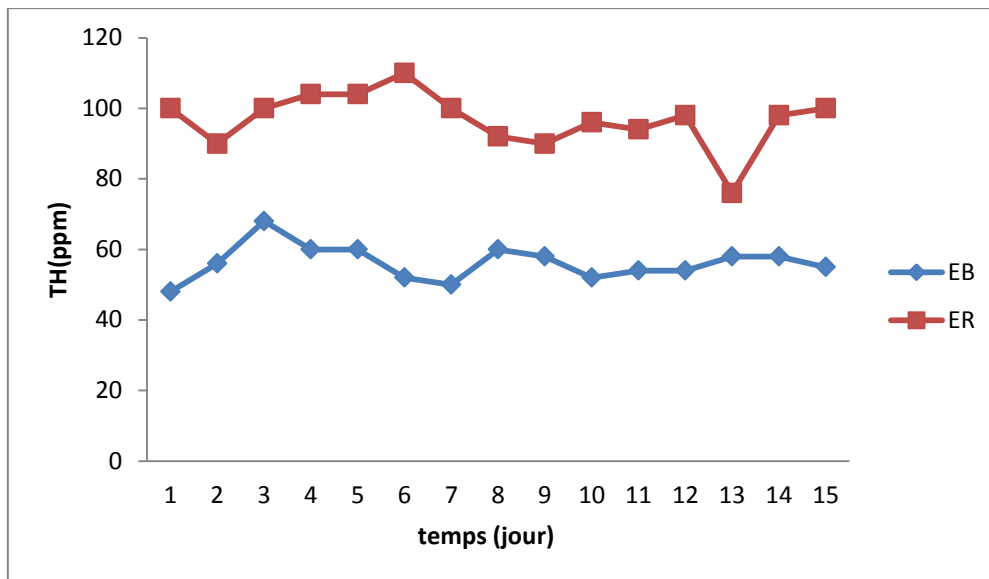


Figure IV.5 : Variation du Titre Hydrométrie TH en fonction du temps (jour).

Interprétation des résultats

D'après le graphe (Figure IV.5) on remarque que les résultats du TH pour l'eau brut sont conformes aux design du l'unité méthanol, mais par contre pour l'eau de refroidissement les résultats sont hors du design, parce que les concentrations en ions Ca^{++} et Mg^{++} sont très élevées.

IV.4.2.1. Calcium Ca^{++} :

➤ Principe

On utilise la méthode de complexométrie par l'EDTA on utilise cette méthode pour la détermination des ions Ca^{++} comme le principe de la détermination du TH.

L'EDTA avec les ions Ca^{++} qui sont dissous dans le milieu aqueux forme des complexes cycliques.

➤ Manipulation

On prend 100 ml d'échantillon avec 2 ml de NaOH plus 0,6 g de rouge de murexide ($\text{C}_8\text{H}_8\text{N}_6\text{O}_6$) et on dose avec l'EDTA (0,02N), le changement de couleur se fait du rose au violet. [7]

Expression des résultats

$$[\text{Ca}^{++}] \text{ (mg/l)} = V_{\text{EDTA coulé}} \times N_{\text{EDTA}} \times 1000 \times 40 / 100$$

$$[\text{Ca}^{++}] = V_{\text{EDTA coulé}} \times 8$$

Soit : $N_{\text{EDTA}} = 0,02 \text{ N}$, $M_{\text{Ca}} = 40 \text{ g/mol}$.

Les résultats d'analyses de la concentration des ions Ca^{++} dans l'eau brute et l'eau de refroidissement sont rassemblés dans le tableau suivant :

Tableau IV.7 : Les résultats d'analyses pour le calcium $[\text{Ca}^{++}]$ (en ppm).

jour	1 ^{er}	2 ^{eme}	3 ^{eme}	4 ^{eme}	5 ^{eme}	6 ^{eme}	7 ^{eme}	8 ^{eme}	9 ^{eme}	10 ^{eme}	11 ^{eme}	12 ^{eme}	13 ^{eme}	14 ^{eme}	15 ^{eme}
EB	16	18	25	15	16	16	17	18	18	16	17	14	21	16	17
ER	32	24	28	29	26	32	28	28	28	27	26	24	28	32	28

On trace le graphe (Figure IV.6) correspondant aux résultats d'analyse des ions du calcium.

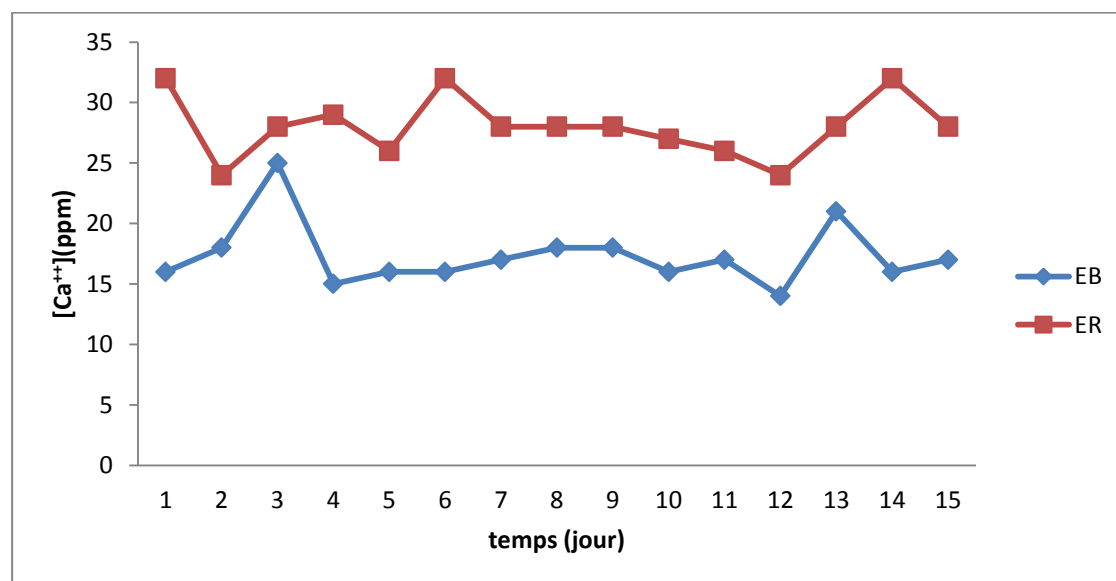


Figure IV.6 : Variation du calcium $[\text{Ca}^{++}]$ en fonction du temps (jour)

Interprétation des résultats

D'apert la courbe des résultats de l'eau brut sont conforme aux valeurs design du méthanol, cependant pour l'eau de refroidissement, ils demeurent en dehors des valeurs design et ceci à cause d'une concentration élevé des ions Calcium.

IV.4.2.2. Magnésium Mg^{++} :

La teneur en magnésium peut être obtenue à partir de la Titre hydrométrie (TH) et la teneur en calcium : $[Mg^{++}] = TH - [Ca^{++}]$

Résultat

Les résultats d'analyses de la concentration des ions Mg^{++} dans l'eau brute et l'eau de refroidissement sont rassemblés dans le tableau suivant :

Tableau IV.8 : Les résultats d'analyses pour le Magnésium $[Mg^{++}]$ (en ppm).

jour	1 ^{er}	2 ^{eme}	3 ^{eme}	4 ^{eme}	5 ^{eme}	6 ^{eme}	7 ^{eme}	8 ^{eme}	9 ^{eme}	10 ^{eme}	11 ^{eme}	12 ^{eme}	13 ^{eme}	14 ^{eme}	15 ^{eme}
EB	32	38	43	45	44	36	33	42	18	36	37	40	37	36	33
ER	68	66	72	75	78	78	72	64	62	69	68	74	48	66	72

On trace le graph (Figure IV.7) correspondant aux résultats d'analyse des ions du magnésium.

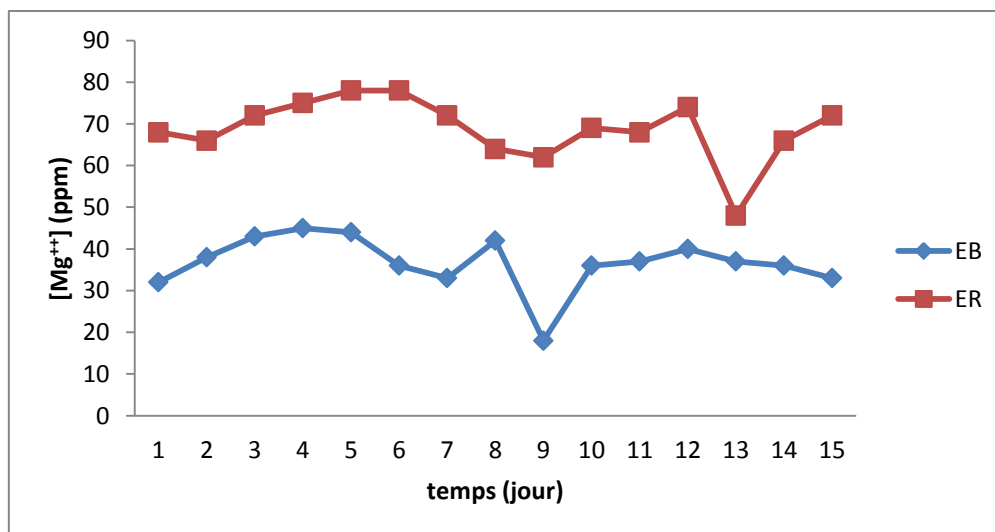


Figure IV.7 : Variation du Magnésium $[Mg^{++}]$ en fonction temps (jour)

Interprétation des résultats

Selon la courbe (Figure IV.7) Les résultats correspondent aux valeurs du design du méthanol pour l'eau brute par contre Les résultats de l'eau de Refroidissement sont en dehors des références du méthanol, car la concentration des ions Mg^{++} est élevée.

IV.4.3. Le chlorure Cl^- :

Pour des eaux contenant des chlorures dont la concentration est située entre 35 à 900 ppm .la méthode recommandée pour la détermination de chlorures se fait par titrage avec du nitrate d'argent $AgNO_3$ en utilisant du chromate de potassium comme indicateur.

➤ Manipulation

En prend 100ml d'échantillon dans un erlenmeyer de 250 ml, on ajoute quelque gouttes de l'indicateur chromate de potassium et une pincée de $CaCO_3$, on titre avec $AgNO_3$, le Changement de couleur se fait du jaune au rouge brique. [7]

➤ résultat

$[Cl^-] = \text{le volume coulé de } AgNO_3 \times 35,5.$

Les résultats d'analyses de la concentration du chlorure dans l'eau brute et l'eau de refroidissement sont rassemblés dans le tableau suivant :

Tableau IV.9: Les résultats d'analyses du chlorure $[Cl^-]$ (en ppm).

Jour	1 ^{er}	2 ^{eme}	3 ^{eme}	4 ^{eme}	5 ^{eme}	6 ^{eme}	7 ^{eme}	8 ^{eme}	9 ^{eme}	10 ^{eme}	11 ^{eme}	12 ^{eme}	13 ^{eme}	14 ^{eme}	15 ^{eme}
EB	35,5	35,5	71	49,7	35,5	35,5	35,5	71	71	85,2	85,2	56,8	56,8	35,5	35,5
ER	78,1	106,5	113,6	142	135	120,7	106,5	135	113	128	128	78,1	71	120,7	106,5

On trace le graph (Figure IV.8) correspondant aux résultats d'analyse de la concentration du $[Cl^-]$.

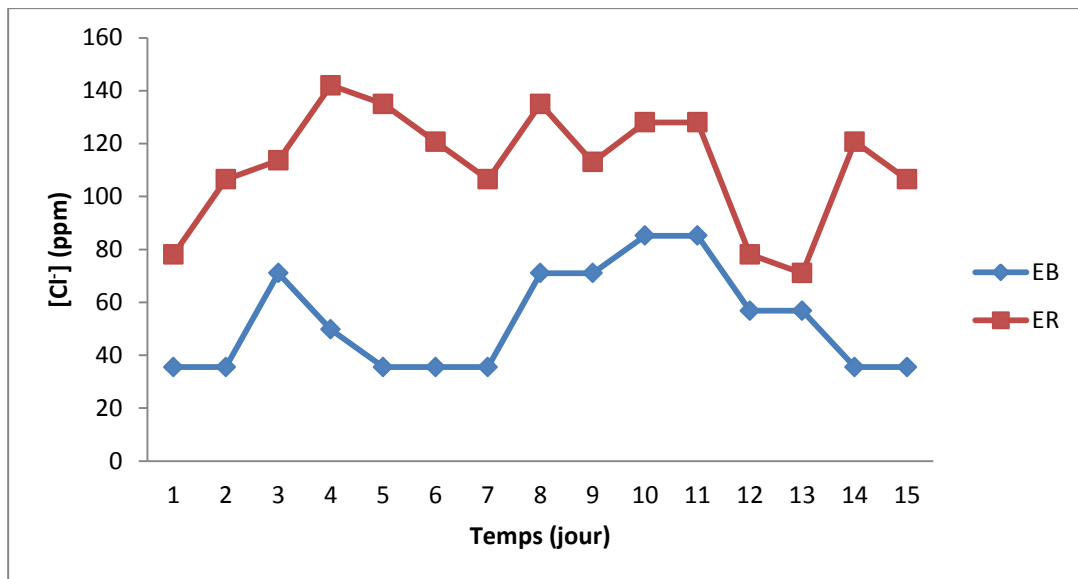


Figure IV.8 : Variation du chlorure [Cl⁻] en fonction de temps (jour).

Interprétation des résultats

Selon (Figure IV.8) la courbe des résultats est globalement hors design, parce que la concentration des chlorures est élevée dans l'eau brute et l'eau de refroidissement.

IV.5. Analyse colorimétrique :

La spectrométrie d'absorption moléculaire permet comme le dosage volumétrique de déterminer la concentration de certains ions, cette mesure est beaucoup plus précise que la volumétrie et son champ d'action est très vaste. Lorsqu'un faisceau lumineux de la longueur d'onde donnée traverse une solution colorée, une fraction de la lumière incidente est absorbée en fonction de la concentration du composé coloré $A = \log\left(\frac{I_0}{I}\right) = \varepsilon \times C \times l$.

On utilise la colorimétrie pour la détermination des phosphates, chlorures, silice ... etc.

IV.5.1. La silice SiO₂²⁻ (di oxyde de silicium) :

On trouve la silice dans les eaux et on la titre par deux méthodes :

- Méthode gravimétrique pour eau riche en silice.
- Méthode colorimétrique pour eau pauvre en silice.

Lorsque l'eau brute et l'eau de refroidissement sont pauvres en silice, on utilise la méthode colorimétrique.

Méthode par colorimétrie :

Elle est basée sur la transformation du Si en acide Silico-molybdique. Ce dernier résulte de la réaction du molybdate de NH_4^+ dans un milieu très acide $\text{pH}=1,2$.

L'acide silico molybdate donne une couleur jaunâtre, cette dernière devient bleu quand on le réduit en anhydride silico-molybdique.

➤ Les réactifs

- 1 ml HCl 0,5 N.
- 2 ml de molybdate d'ammonium à 10%.
- 1,5 ml d'acide oxalique.
- 2 ml d'acide aminonaphtasulfonique.

➤ Les résultats

Les analyses qu'on a faites pour la silice sont été réalisées durant 15 jours sur l'eau brute et l'eau de refroidissement.

Les résultats d'analyses de la silice dans l'eau brute et l'eau de refroidissement sont rassemblés dans le tableau suivant :

Tableau IV.10: Les résultats d'analyses du Silice (ppm).

Jour	1 ^{er}	2 ^{eme}	3 ^{eme}	4 ^{eme}	5 ^{eme}	6 ^{eme}	7 ^{eme}	8 ^{eme}	9 ^{eme}	10 ^{eme}	11 ^{eme}	12 ^{eme}	13 ^{eme}	14 ^{eme}	15 ^{eme}
EB	0	0	0,02	0,04	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,004	0,006
ER	0,31	0,32	0,4	0,32	0,35	0,43	0,42	0,32	0,3	0,29	0,3	0,31	0,3	0,43	0,42

On trace le graphe correspondant aux résultats d'analyse de la silice.

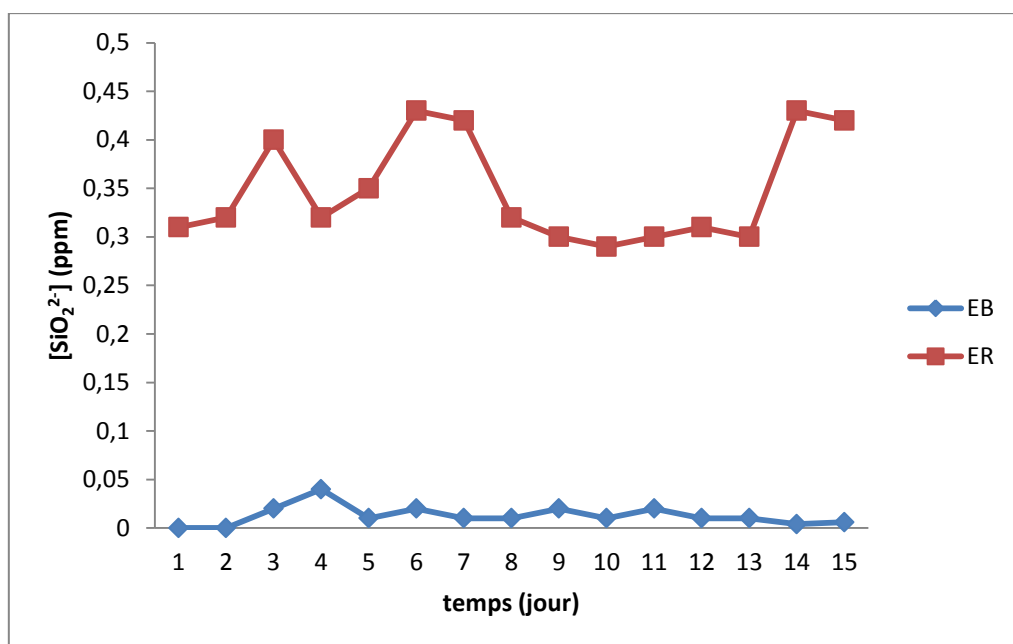


Figure IV.9: Variation de la silice en fonction de temps (jour).

Interprétation des résultats

Les résultats d'analyse (Figure IV.9) de l'eau brut sont conforme aux valeurs design du méthanol, cependant pour l'eau de refroidissement ils demeurent hors valeurs design, et ceci à cause de la présence de silice en grand quantité.

IV.5.2. Fer (Fe⁺⁺):

➤ Les réactifs

-5 ml acétate d'ammonium

-2 ml orthophenontroline

-1 ml chlorhydrate hyxolamine

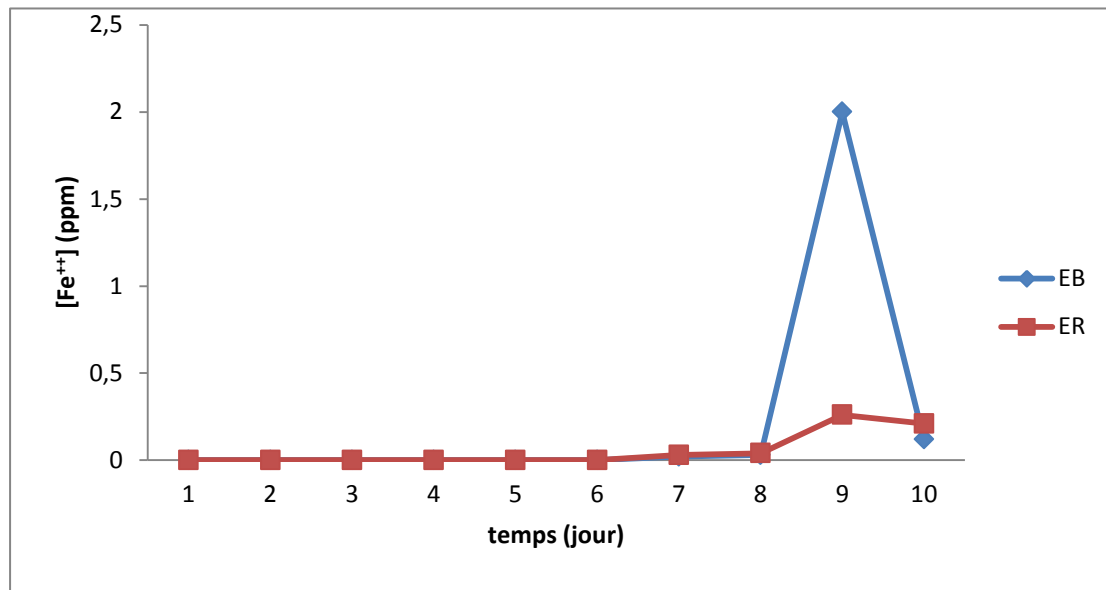
➤ Mode opératoire

Dans une fiole de 100 ml, On prend 50 ml d'échantillon et respectivement les réactifs en mélangeant après chaque addition, attendre exactement 10 mn pour déterminer la concentration en ppm des ions Fe⁺⁺, On fait passer l'échantillon dans le spectrophotomètre et on lit directement. [7]

Tableau IV.11: Les résultats d'analyses du $[\text{Fe}^{++}]$ (ppm).

jour	1 ^{er}	2 ^{eme}	3 ^{eme}	4 ^{eme}	5 ^{eme}	6 ^{eme}	7 ^{eme}	8 ^{eme}	9 ^{eme}	10 ^{eme}
EB	0	0	0	0	0	0	0,02	0,03	2	0,12
ER	0	0	0	0	0	0	0,03	0,04	0,26	0,21

On trace le graphe correspondant aux résultats d'analyse de $[\text{Fe}^{++}]$.

**Figure IV.10:** Variation du $[\text{Fe}^{++}]$ en fonction de temps (jour).

IV.5.3. Matière en suspension_MES :

➤ Principe

L'eau est filtrée et le poids des matières retenues est filtré est déterminé par pesées différentielles

➤ Mode opératoire

On pèse le papier soit (P_1) mettre de dispositif de filtration en marche, le volume de la prise d'essai 100 ml. D'eau brute et on verse le tout sur le papier filtre mettre le papier filtre dans une étuve à ($105 \pm 0,5^\circ\text{C}$) jusqu'à évaporation total de l'eau, refroidi dans le dessiccateur puis on pèse la 2^{eme} fois (P_2) mettre le papier mettre le papier filtre dans un creuset en platine taré [7].

➤ **Expression de résultats**

ER :

$$P_1 = 0,3355 \text{ mg.}$$

$$P_2 = 0,3430 \text{ mg.}$$

$$\text{MES} = P_2 - P_1/100.$$

$$\text{MES} = 0,3430 - 0,3355/100.$$

$$\text{MES} = 4,2 \times 10^{-5} \text{ mg/ml ou MES} = 0,042 \text{ mg/l.}$$

EB :

$$P_1 = 0,3266 \text{ mg.}$$

$$P_2 = 0,3268 \text{ mg.}$$

$$\text{MES} = P_2 - P_1/100 = 0,2 \times 10^{-4} = 0,002 \text{ mg/l.}$$

IV.6. Les conséquences et solution :

En milieu industriel, il est très important d'anticiper la survenance de certains phénomènes indésirables, une méthode largement utilisée est l'indice de Langelier qui permet de définir si l'eau est entartrant ou corrosive [11].

Cet indice s'exprime :

$$\text{IS} = \text{pH} + \text{FT} + \text{FTAC} + \text{FTH} - \text{FTDS}$$

Durant mon stage j'ai utilisé les données des analyses de l'eau des tours de refroidissement effectuées au niveau du laboratoire afin de déterminer l'indice de Langelier.

On calcule l'indice de Langelier : pour connaître la nature de l'eau de refroidissement

Exemple :

Dans le 1er jour le pH=8,23, TAC=11°F, TH=100 ppm, TDS=193 ppm, T=35°C.

Après projection sur les facteurs FTAC=2,15, FTH= 1,6, FT=0,8, FTDS=12.

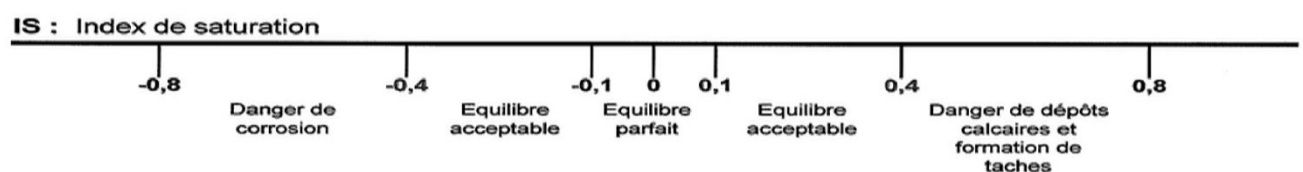
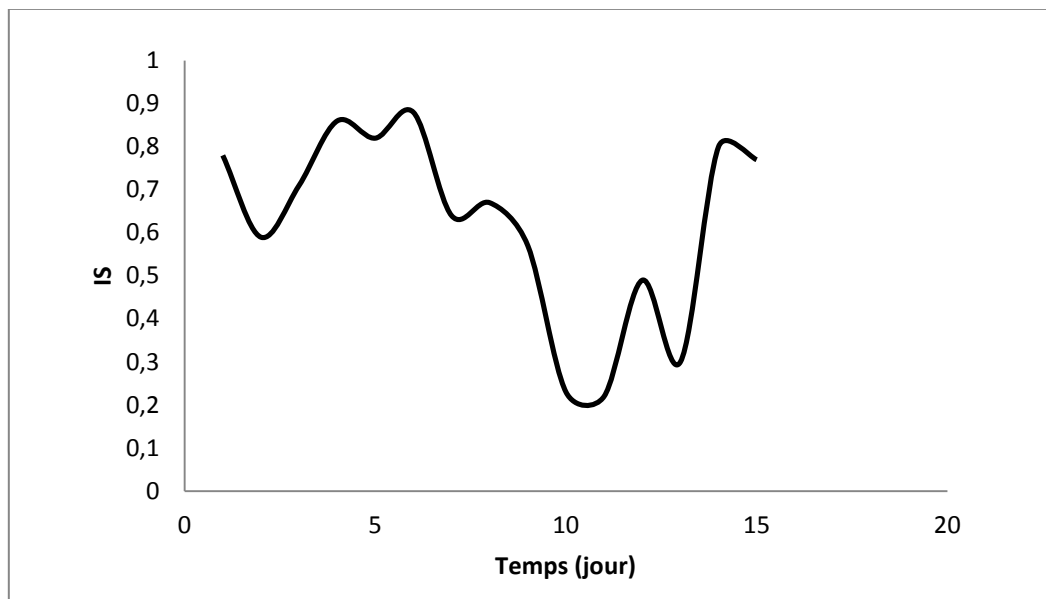


Figure IV.11: indice de Langelier

Tableau IV.12: Les résultats d'analyses de l'Index de saturation :

Jour	1 ^{er}	2 ^{eme}	3 ^{eme}	4 ^{eme}	5 ^{eme}	6 ^{eme}	7 ^{eme}	8 ^{eme}	9 ^{eme}	10 ^{eme}	11 ^{eme}	12 ^{eme}	13 ^{eme}	14 ^{eme}	15 ^{eme}
IS	0,78	0,59	0,71	0,86	0,82	0,88	0,64	0,67	0,57	0,23	0,22	0,49	0,3	0,8	0,77
pH	8,23	8,14	8,31	8,35	8,27	8,38	8,24	8,21	8,12	7,86	7,93	8,08	8,1	8,4	8,35

On trace le graphe correspondant aux résultats d'indice Langelier

**Figure IV.12:** Variation l'indice de Langelier en fonction du temps (jour)

IS > 0 donc eau de refroidissement des tours est en situation d'entartage durant la période de stage

IV.6.1 Les conséquences pour le pH, TAC, TH, TDS :

Lorsque la concentration d'un sel est supérieure à sa limite de solubilité il se dépose sous forme de tartre, qui aura pour effet diminué considérablement l'échange thermique aux niveaux d'échangeurs de chaleur.

IV.6.1.1. Solution pour ce problème :

Dans ce cas, cette eau dans la condition d'entartage sont favorable (c'est-à-dire température > 60).

Nous recommandons de procéder à la diminution de la quantité injectée de l'inhibiteur de corrosion et en même temps à l'augmentation de la quantité de 'inhibiteur d'entartage.

IV.6.1.2. Inhibiteur d'entartage (Poly phosphate) :

C'est un inhibiteur d'entartage, son rôle est séquestrer (enveloppé) les ions Ca^{++} , Mg^{++} pour éviter leur précipitation.

IV.6.2. Conséquence de chlorure [Cl] :

La présence du chlorure peut causer la corrosion de l'inox (corrosion par piqure), l'origine de cet élément prévient dans l'eau bruit.

IV.6.2.1. Solution :

Au vu des résultats d'analyse, ce préférable de procéder à l'ouverture de la vanne de purge (déconcentration), afin de diminuer la quantité de chlorure, pour éviter la corrosion des échangeurs en inox.

IV.6.3. Conséquence silice :

La silice peut engendrer un dépôt très dur d'oxyde de silice (SiO_2) qu'il très difficile d'éliminer.

IV.7. Préconisation :

Afin d'éviter l'augmentation d'un taux de sels préjudiciable pour les équipements (échangeurs) et installations (pompes, tuyauterie...) l'eau perdue au niveau des tour la refroidissement par évaporation ou entrainement doit être à la fois compensée pour des appoint d'eau brut a faible salinité et procède à des purge déconcentrations.

Pour réaliser cette opération une surveillance continue est nécessaire de la qualité de refroidissement et nécessaire pour déterminer le débit d'eau de refroidissement à purge.

On calculer :

● Débit d'évaporation :

C'est le débit d'eau évaporée à la tour pour refroidir l'eau circuit. Ce débit d'évaporation est constitué par de l'eau pure qui n'entraîne aucun sel dissous .ils est estime par la formule.

$$E = (Q / 560) \times \Delta T$$

560 Kcal.Kg correspondants à la valeur de la chaleur latente de vaporisation de l'eau généralement admise.

- **Débit d'entraînement vésiculaire :**

C'est le débit d'eau entraînée dans l'atmosphère sous forme de gouttelettes

Cette eau contrairement à l'eau évaporée, possède la même composition chimique que l'eau du circuit.

$$E_v = Q/1000$$

Q : Débit de circulation

- **Déconcentration total : D (m³.h⁻¹)**

C'est la somme des débits dus à l'entraînement vésiculaire E_v, à la purge P

$$D = E_v + P$$

- **Débit appoint: A (m³.h⁻¹) :**

Il compense l'ensemble des pertes d'eau dans le circuit, à savoir évaporation + déconcentration total :

$$A = E + D$$

- **Taux de concentration : C**

C'est le rapport des teneurs de sels dissous entre l'eau du circuit et l'eau d'appoint :

$$C = \text{salinité de circuit} / \text{salinité d'appoint}$$

On peut établir un bilan matière

- Salinité de l'eau d'appoint : S (g.m⁻³)
- Salinité de l'eau du circuit : C×S
- Quantité de sels dissous entrant : S×A
- Quantité de sels dissous sortant : C×S×D

Ces deux quantités doivent être égales :

$$D'où C = A/D$$

Et, puisque A = E+D :

$$D = E/C - 1$$

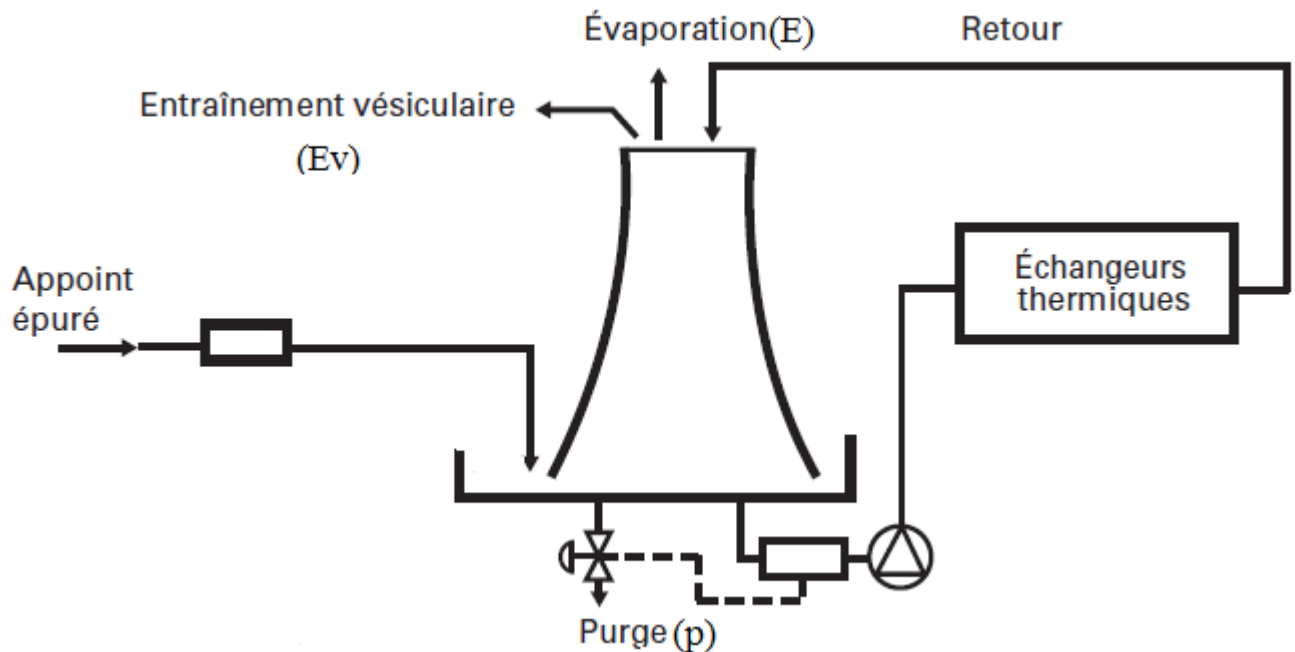


Figure IV.13: Les éléments d'une tour de refroidissement

IV.8. Lavage chimique :

Le nettoyage chimique industriel a pour but d'éliminer les dépôts de tous types fixés sur les surfaces métalliques des appareils, tels que les échangeurs de chaleur, les canalisations d'eau ou de produits chimiques, les cuves ...etc.

Le principe du nettoyage chimique industriel est de faire circuler, à l'intérieur des installations à nettoyer des solutions de mélanges chimiques dont la principale propriété sera de dissoudre les matières que l'on veut éliminer.

Cette technique implique la résolution des principaux problèmes suivants:

- Connaissance de la nature chimique exacte des dépôts à éliminer
- Définition de la composition du produit de mise en solution des dépôts
- Essais de mise en solution du dépôt en laboratoire avec détermination de différents paramètres tels que :
 - Temps de contact
 - Température
 - Définition de la composition du produit de neutralisation de l'agent détartrant, et définition des tests de fin de neutralisation.

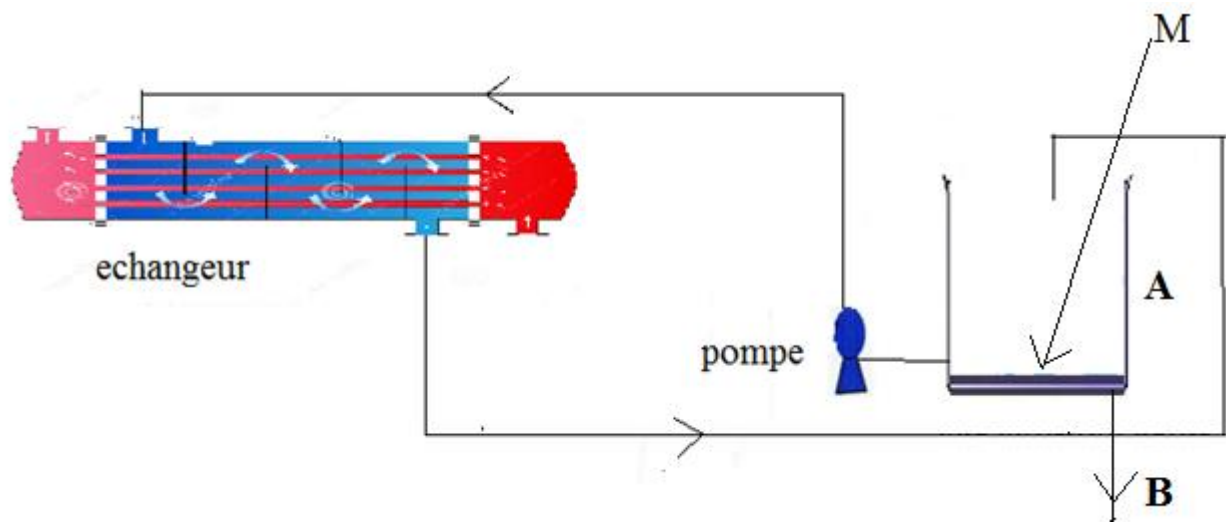
Pour chacun des différents points ci-dessus, il existe des procédures d'investigations, ainsi que des méthodes, tant d'analyses de dépôts (analyses rapides ou déterminations complètes pour les problèmes plus complexes).

Dans une même usine, il peut qu'en des points différents, la qualité des dépôts ne soit pas uniforme; ceci est peut être dû à des usages différents de l'eau, laquelle a pu subir des traitements particuliers pour des utilisations spécifiques.

Pour une même eau, des températures de peau différentes des matériels font que ce ne sont pas les mêmes précipitations qui s'opèrent, donc les mêmes sels qui se forment; ainsi, l'agent dissolvant pourrait être différent d'une unité à une autre.

IV.8.1. Principe de fonctionnement du nettoyage chimique :

A l'aide d'une cuve munie d'un agitateur, on prépare la solution (mélange d'acide sulfamique, BS 12 + Passivex). Le produit nettoyant est envoyé vers l'équipement avec une pompe et retourne à la cuve (circuit fermé). Cette opération est réalisée en continu jusqu'à ce que le produit nettoyant perde de son efficacité. [7]



A : Cuve produits de nettoyage chimique B: Purge de cuve M: électro-agitateur

Figure IV.14: Schéma d'un lavage chimique avec l'acide sulfurique pour un nettoyage d'échangeur

IV.8.2. Installation simplifiée :

Dans le cas d'une installation de nettoyage simplifiée, il est nécessaire, pour la bonne pratique d'un nettoyage, d'avoir à sa disposition:

- Un laboratoire pour réaliser les analyses de dépôt.
- Un kit de test des produits de base permettant de réaliser les essais d'attaque des échantillons de dépôt dans toutes conditions de temps et de température.
- Le matériel de nettoyage avec cuve de stockage de produit nettoyant, la ou les pompes de circulation, l'ensemble des flexibles de raccordement aux organes à nettoyer.
- Un nécessaire de contrôle de la solution de nettoyage durant l'opération qui peut durer plusieurs heures afin de déterminer la fin. [16]

IV.8.3. Contrôle de l'efficacité du produit nettoyant :

IV.8.3.1. L'acidité

On prend 20 ml de mélange (acide sulfamique + passivex) dans un erlenmeyer, On ajoute 3 gouttes de rouge de méthyle. Il devient rouge brique, en titre avec NaOH (0,5 N), Le virage de la couleur se fait vers le jaune. [7]

$$[C] = N_{\text{NaOH}} \times V_{\text{NaOH}} \times M_{\text{acide sulfamique}} / V_{\text{mélange}}$$

IV.8.3.2. Le PH

- Le test de pH de mélange se fait à l'aide d'un PH mètre.
- C'est le pH du mélange est proche de 7, l'efficacité est nulle.

IV-9 Conclusion :

L'interpolation des résultats des analyse de l'eau brute et de refroidissement matin que l'eau du circuit présente les conditions d'une eau entartant, il faudrait prendre les mesures pour limites ce phénomène.

CONCLUSION

Conclusion général

En complément de la formation académique acquis au niveau de l'université, le stage en milieu industriel nous a permis de consolider nos connaissances théoriques.

Pendant cette période nous nous sommes familiarisés avec les instruments, les équipements et méthodes d'analyses d'un laboratoire industriel, l'organisation de travail et l'importance que revêtent ces analyses de laboratoire dans le tissu industriel.

Nous avons constaté que ces étapes de contrôle jouent un rôle primordial dans le suivi de la qualité des fluides particulièrement le système de refroidissement d'une unité pétrochimique se composant principalement de tours de refroidissement

Il en ressort qu'une mauvaise prise en charge du suivi de la qualité d'eau pourrait conduire à des problèmes d'exploitation sérieux, entartage des échangeurs, donc bouchage et diminution de l'efficacité énergétique et donc des conséquences économique non négligeable

Par contre si on assure un suivi convenable on peut anticiper les problèmes et prendre les mesures nécessaires en temps utile .Les analyses de l'eau brute et de refroidissement en continu permettent de déterminer les conditions de fonctionnement en situations acceptables d'entartage ou corrosion.

Conclusion

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références Bibliographiques

- [1]: A. Chauvel, G. Lefebvre, L.Gastex: "*Procédés de pétrochimie, caractéristiques techniques et économiques*" Tome 1, 1985. Page 104.
- [2]: A. Taouli, " *Cours Pétrochimie*", Institut Algérien du Pétrole, Boumerdès, Algérie. 2013. page 137.
- [3]: Conférence des cadres ENIP, "*Voies possibles pour valorisation du méthanol*", Skikda, Algérie. 2008.
- [4]: J.P.Baïlon, J.M.Dorlot, "*Des matériaux*», 2000.
- [5]: Manuel opératoire du complexe CP1/Z.
- [6]: MANUEL OPERATION DE CP1/Z
- [7]: Document personnel des analyses du laboratoire de CP1/Z.
- [8]: L. Duvivier, « Concentration et conditionnement des eaux de surface intérieures dans les circuits de refroidissement atmosphériques des grandes centrales thermiques », 36 émes Journées internationales du CEBEDEAU, 205-234, Liege, 25-27 mai 1983.
- [9]: HAZOULRLI.S, BOUDIBA.L, ZIATIM, Caractérisation de la pollution des eaux résiduares de la zone industrielle d'EL-HADJAR, ANNABA. Larhyss journal, ISSN 1112-3680, n°06, décembre 2007, pp 20.
- [10]: ASHRAE Handbook 2000, "Cooling Towers", chapter 36.
- [11]: F.Berné, J.Cordonnier, (1991). Traitements des eaux, paris et institut du pétrole rueil malvaion ISBN 2 ;7108-0613-4 ISSN 07686-6147x, edition technip, p 40.
- [12]:Manuel de production, installation: Méthanol.
- [13]: <http://197.14.51.10:81/pmb/COURS%20ET%20TUTORIAL/Chimie/pretochimie/D8-3.pdf>
- [14]: Deleval, Duvivier, Hosdain, « Lutte contre l'entartrage des circuits de refroidissement», 9th Cooling Tower and Spraying Pond Symposium-International Association for Hydraulic Research, Institut von Karman, 20-23 septembre 1994.
- [15]: Duvivier, van Damme, Bolsée, « Le choix des corps d'échange des tours de réfrigération et leur influence sur les phénomènes d'entartrage», Actes des Journées d'Information Eaux, Vol. 1,371-3711, 18-10 septembre 1996.
- [16]:<http://www.lenntech.fr/applications/process/refroidissement/chaudiere/eaurefroidissement-qualite.htm#ixzz3388kpWzk>

Références Bibliographiques

ANNEXE

Annexe

Annexe A: Les matériels utilisés.



Les spécifications :

Système optique : réseau holographique 1200L/mm monochromateur de type littrow.

Gamme spectrale : 325-1000nm ce2001/31

190-1000nm ce 2021/41

Résolution en longueur d'onde 0.1nm

Précision en longueur d'onde <1nm

Sélection de la longueur d'onde : par clavier avec touche « go to »

Lumière passante 1.8nm pour la série 4001

Gamme photométrique -0,3à3A/O à 200% T 0 à 9999C

Précision photométrique +/- 1% ou 0,005A

Bruit photométrique < +/- 0,002 A à 500nm

Stabilité du zéro en Abs <0,001A/h

Sélection du zéro OA et 100% T automatique par pression du bouton « zero »

Dimension de la chambre de mesure 196*96*107mm

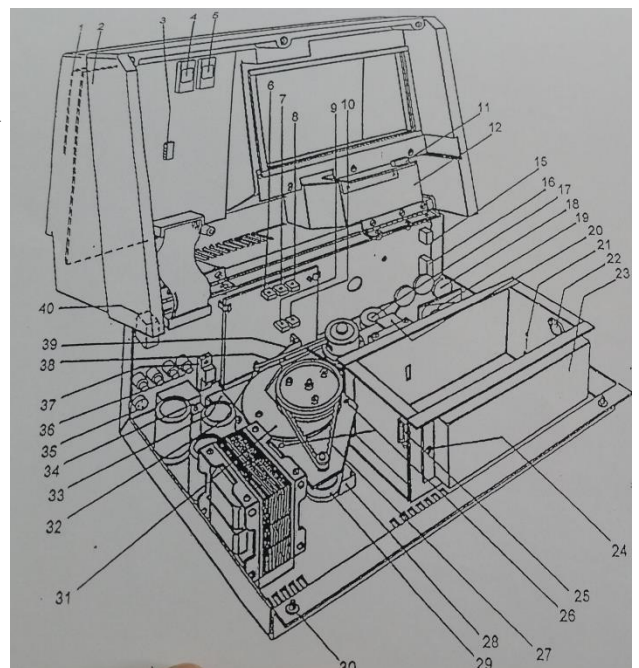
Dimension de l'appareil nu 480*340*400mm

Dimension de l'emballage 700*600*400mm

Poids net /brut 17Kg/30Kg

Alimentation électrique 110-240 V/50-60 Hz 180W

- 1- Control p.c.b.
- 2- Microprocessor p.c.b.
- 3- Wavelength and Baud Rate adjustment links.
- 4- ROM odd.
- 5- ROM even.
- 6- Tungsten halide lamp voltages adjust.
- 7- Not ADJ-PRESET.
- 8- LCD screen voltage adjustment.
- 9- Logic Supply voltage adjust.
- 10- Deuterium lamp adjust.
- 11- Prioter Control p.c.b. (printer versions).



Annexe

- 12- Printer. (Printer versions).
- 15- Serial port.
- 16- Temperature control socket.
- 17- Lamp change motor.
- 18- Filters.
- 19- Filter change motor.
- 20- Monochromator end cover.
- 21- Sipetto pump mounting holes.
- 22- Temperature accessory socket.
- 23- Detector cover.
- 24- Detector covers retaining screw.
- 25- Accessory control socket.
- 26- Wavelength motor plate fixing screws.
- 27- Wavelength drive belt.
- 28- Tungsten, deuterium lamp (front) rectifiers.
- 29- Wavelength drive motor.
- 30- Lid closure capture screw.
- 31- Wavelength cam.
- 32- Cam follower adjustment screw.
- 33- Monochromator end cover.
- 34- Logic power rectifié.
- 35- Batch sampling control socket.
- 36- Fuse.
- 37- Power voltage selector.
- 38- Cam follower
- 39- Wavelength opto end stop
- 40- Power switch.

Annexe

Conductimètre



pH mètre



Le pH est une mesure de l'acidité ou de la basicité d'une solution pendant, non savon réalise les mesures de pH-mètre HANNA instrument pH209

Annexe B : indice de Langelier

Tableau 1 : rassemble la température en fonction facteur de température

T	0	3	8	12	16	19	24	29	34	41	53
FT	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1

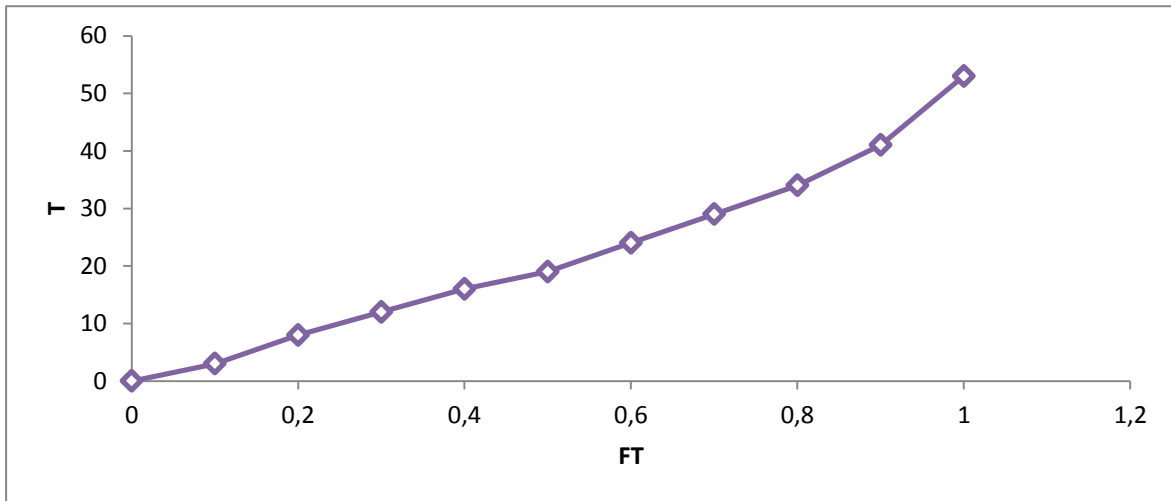


Figure 1 : La température en variation avec le facteur de température

Tableau 2 : rassemble TH en fonction du FTH

TH	5	25	50	75	100	150	200	250	300	400	800
FTH	0,3	1	1,3	1,5	1,6	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,35

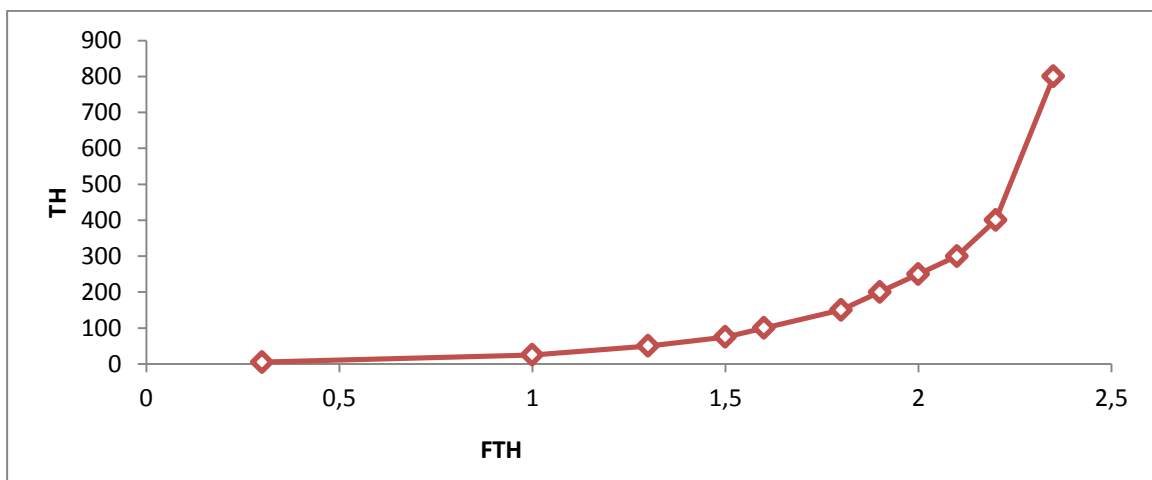


Figure 2 : La variation TH en fonction du FTH.

Annexe

Tableau 3 : Les résultats correspondent la variation de TAC en fonction FTAC.

TAC	5	25	50	75	100	150	200	250	300	400
FTAC	0,7	1,4	1,7	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,5	2,6

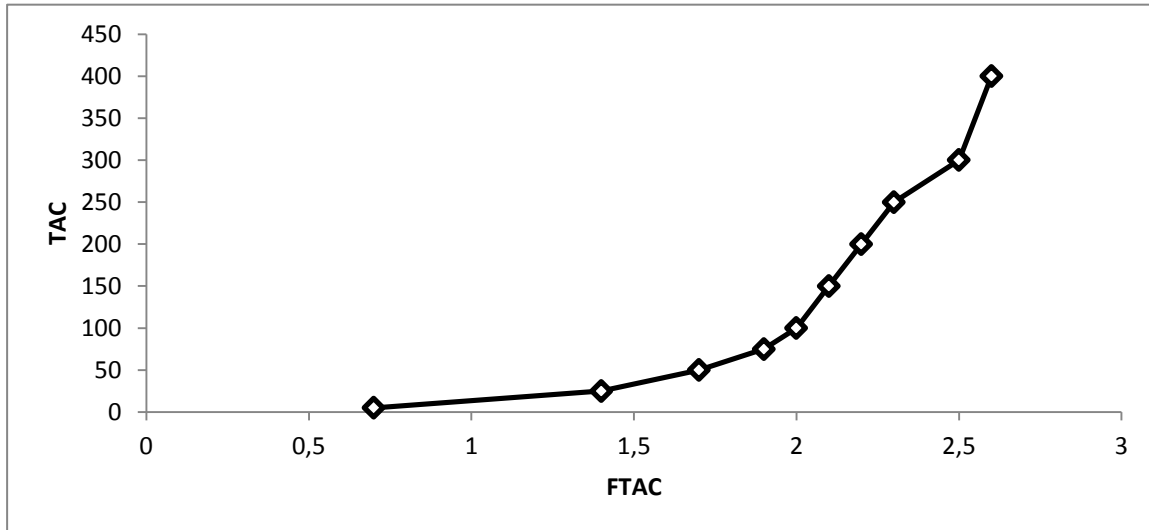


Figure 3 : La variation du TAC en fonction du FTAC

Tableau 3 : Les résultats de la variation de TDS en fonction du FTDS.

TDS	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000
FTDS	12	12,1	12,2	12,25	12,3	12,3	12,35

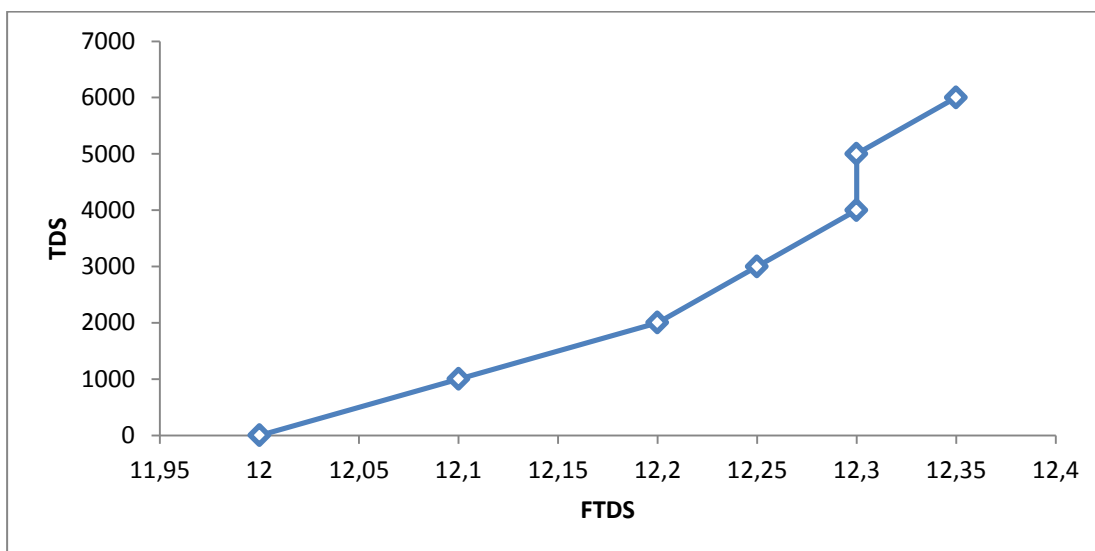


Figure 4 : La variation du TDS en fonction du FTDS

Annexe
