

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABBES LAGHROUR  
KHENCHELA

FACULTE DES SCIENCES & DE LA  
TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE INDUSTRIEL



جامعة عباس لغرور خنشلة

كلية العلوم و التكنولوجيا

قسم: الهندسة الصناعية

No. Réf. : .....

## *Mémoire de fin d'études*

*Pour l'obtention du diplôme de Master (LMD)*

*Option: Génie des Procédés et Environnement*

### *Thème*

*Etude de la qualité des eaux de chaudières par des  
analyses physico-chimiques au niveau de la Raffinerie de  
Skikda (RA1/K)*

*BERKANE Zine El-Abidine*

*HOUHA Abdelazziz*

*Directeur de Mémoire: Dr. Rafiaa KIHAL*

Devant le jury:

|             |                   |                                    |
|-------------|-------------------|------------------------------------|
| Président:  | Dr. A. BOUGHOUGAL | Université Abbes Laghrou khenchela |
| Rapporteur: | Dr. R. KIHAL      | Université Abbes Laghrou khenchela |
| Examineur:  | Dr. N. MECHERI    | Université Abbes Laghrou khenchela |

**Année universitaire: 2021–2022**

# *Remerciement*

Avant tout nous tenons à remercier Allah le tout puissant de nous avoir donné la force et la puissance pour accomplir ce travail.

Ce travail de mémoire a été réalisé au sein de la Raffinerie de Skikda (RA1/K).

Nous tenons particulièrement à exprimer notre gratitude à notre directrice de mémoire, Dr. **Rafiaa Kihal**, Maitre de conférences classe «B» à l'Université Abbes Laghrour Khenchela, pour avoir proposé et dirigé ce travail, et ensuite pour sa disponibilité, son aide, et ses précieux conseils et le soutien qu'elle nous avons apporté tout au long de ce mémoire.

Nous remercions également tous les membres de la Raffinerie de Skikda (RA1/K) et spécialement les ingénieurs de laboratoire d'analyse pour leur chaleureuse hospitalité et leur bon comportement, que nous avons permis de réaliser ce stage dans les meilleures conditions.

Nos remerciements s'adressent également aux membres du jury d'accepter de juger notre travail.

Nous exprimons nos remerciements à nos enseignants du Département de Génie Industriel de l'Université Abbes Laghrour Khenchela.

Toutes nos salutations à tous nos collègues de la promotion de Master 2022 pour les sympathiques moments qu'on a passé ensemble.

Enfin à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail

*Merci à tous*

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail à ceux qui m'ont donné la  
vie, le symbole de tendresse, qui se sont sacrifiés pour  
mon bonheur et ma réussite,*

*À ma mère et à mon père.*

*À mes chères sœurs et frères*

*À tous ceux qui me sont chers*

*Zine el Abidine*

*ℒ*

*Abdelazziz*

## *Liste des Abréviations*

| <b>Symbole</b> | <b>Abréviation</b>   |
|----------------|--|
| <b>CTE</b>     | Centrale thermoélectrique et utilités  |
| <b>ERDP</b>    | Entreprise nationale de raffinage et de distribution des produits pétroliers |
| <b>DBO</b>     | Demande biologique en oxygène  |
| <b>DCO</b>     | Demande chimique en oxygène  |
| <b>EDTA</b>    | Ethylène diamine tétra-acétique  |
| <b>MES</b>     | Matières en suspension   |
| <b>NET</b>     | Noir Eriochrome T  |
| <b>PH</b>      | Potentiel hydrogène  |
| <b>PSA</b>     | Procédé d'adsorption d'écart de pression                                     |
| <b>TA</b>      | Titre alcalimétrique   |
| <b>TAC</b>     | Titre alcalimétrique complet   |
| <b>TH</b>      | Titre hydrométrique  |

## *Liste des Tableaux*

| <b>Tableau</b>       | <b>Titre</b>  | <b>Page</b> |
|----------------------|---|-------------|
| <b>Tableau I.1</b>   | Capacité de traitement des raffineries.....                       | 5           |
| <b>Tableau I.2</b>   | Développement des unités de production.....                       | 9           |
| <b>Tableau II.1</b>  | Caractéristiques de l'eau d'alimentation.....                     | 23          |
| <b>Tableau II.2</b>  | Caractéristiques de l'eau dans la chaudière.....                  | 23          |
| <b>Tableau III.1</b> | Equipements et produits chimiques utilisés dans les analyses..... | 34          |

## *Liste des figures*

| <b>Figure</b>       | <b>Titre</b>   | <b>Page</b> |
|---------------------|--|-------------|
| <b>Figure I.1</b>   | Différentes raffineries en Algérie   | 7           |
| <b>Figure I.2</b>   | Situation géographique de la raffinerie de Skikda (RA1/K)                    | 8           |
| <b>Figure I.3</b>   | Organigramme de la structure hiérarchique de la raffinerie de Skikda (RA1/K) | 10          |
| <b>Figure II.1</b>  | Chaudière industrielle   | 18          |
| <b>Figure II.2</b>  | Schéma de principe de fonctionnement de la chaudière                         | 19          |
| <b>Figure II.3</b>  | Description d'une chaudière à tube de fumée                                  | 21          |
| <b>Figure II.4</b>  | Description d'une chaudière à tube d'eau                                     | 21          |
| <b>Figure II.5</b>  | Chaudière de récupération dans une usine d'ammoniac                          | 22          |
| <b>Figure II.6</b>  | Grilles à nettoyage manuel   | 24          |
| <b>Figure II.7</b>  | Microtamisage  | 25          |
| <b>Figure II.8</b>  | Procédé de coagulation   | 26          |
| <b>Figure II.9</b>  | Phénomène de coagulation-floculation   | 26          |
| <b>Figure II.10</b> | Procédé de floculation   | 26          |
| <b>Figure II.11</b> | Phénomène (avant et après) l'entartrage                                      | 30          |
| <b>Figure II.12</b> | Tube corrodé   | 31          |
| <b>Figure III.1</b> | pH mètre   | 36          |
| <b>Figure III.2</b> | Conductimètre  | 36          |
| <b>Figure III.3</b> | Montage d'un dosage de TA et TAC   | 38          |
| <b>Figure IV.1</b>  | Variation du pH d'eau de chaudière en fonction du temps.                     | 42          |
| <b>Figure IV.2</b>  | Variation de la conductivité d'eau de chaudière en fonction du temps.        | 43          |
| <b>Figure IV.3</b>  | Evolution du TA d'eau de chaudière en fonction du temps.                     | 43          |
| <b>Figure IV.4</b>  | Evolution du TAC d'eau de chaudière en fonction du temps.                    | 44          |
| <b>Figure IV.5</b>  | Evolution de la silice d'eau de chaudière en fonction du temps.              | 44          |
| <b>Figure IV.6</b>  | Evolution du phosphate d'eau de chaudière en fonction du temps.              | 45          |
| <b>Figure IV.7</b>  | Evolution de la teneur en fer d'eau de chaudière en fonction du temps.       | 45          |

## Table des matières

|   |            |
|---|------------|
| <i>Remerciement</i>   |            |
| <i>Dédicaces</i>  |            |
| <i>Liste des abréviations</i>   | <i>I</i>   |
| <i>Liste des tableaux</i>   | <i>II</i>  |
| <i>Liste des figures</i>  | <i>III</i> |
| <i>Introduction générale</i> .....  | 01         |
| <b><i>Chapitre I: Présentation du complexe de la raffinerie de Skikda (RA1/K)</i></b> |            |
| I.1. Introduction.....  | 4          |
| I.2. Historique sur l'organisation de l'activité du raffinage.....                    | 4          |
| I.3. Différentes raffineries en Algérie.....  | 5          |
| I.3.1. Raffinerie d'Alger (RA1/G).....  | 5          |
| I.3.2. Raffinerie d'Arzew (RA1/Z).....  | 6          |
| I.3.3. Raffinerie de Hassi Messaoud.....  | 6          |
| I.3.4. Raffinerie de Skikda (RA1/K).....  | 6          |
| I.3.5. Raffinerie de Ain Amenas.....  | 7          |
| I.4. Description de la raffinerie de Skikda.....                                      | 7          |
| I.4.1. Situation géographique de la raffinerie de Skikda.....                         | 8          |
| I.4.2. Construction de la raffinerie de Skikda.....                                   | 8          |
| I.4.3. Structure hiérarchique de la raffinerie de Skikda.....                         | 9          |
| I.4.4. Différentes unités de production de la raffinerie de Skikda.....               | 10         |
| I.4.5. Description des différentes unités de production.....                          | 11         |
| I.4.5.1. Unités de distillation atmosphérique (Topping) U10-11.....                   | 11         |
| I.4.5.2. Unités 100 et 103 (unité Magnaforming, platforming).....                     | 11         |
| I.4.5.3. Unité d'extraction des aromatique U 200.....                                 | 12         |
| I.4.5.4. Unité de séparation du paraxylène U 400.....                                 | 12         |
| I.4.5.5. Unité de production de bitume U70.....                                       | 12         |
| I.4.5.6. Unités de séparation et traitement des gaz U30-31-104.....                   | 12         |
| I.4.5.7. Unité d'isomérisation du naphta léger a U700/701/702/703.....                | 13         |
| I.4.6. Description des utilités.....  | 14         |
| I.4.6.1. Unité Melex U600.....  | 14         |

|   |    |
|---|----|
| I.4.6.2. Unités 1050 : Centrale thermoélectrique et utilités (CTE)..... | 14 |
| I.4.6.3. Unités 900 : Purification de l'hydrogène.....                  | 14 |
| I.5. Conclusion.....  | 16 |
| <b><i>Chapitre II: Procédés d'épuration des eaux de chaudières</i></b>  |    |
| II.1. Introduction.....   | 18 |
| II.2. Définition d'une chaudière.....                                   | 18 |
| II.3. Principe de fonctionnement des chaudières.....                    | 18 |
| II.4. Classification des chaudières .....                               | 20 |
| II.5. Différents types des chaudières .....                             | 20 |
| II.5.1. Chaudière à tube de fumée.....                                  | 20 |
| II.5.2. Chaudière à tube d'eau.....                                     | 21 |
| II.5.3. Chaudière de récupération.....                                  | 21 |
| II.6. Eau d'alimentation de la chaudière .....                          | 22 |
| II.7. Caractéristiques de l'eau de l'alimentation d'une chaudière ..... | 22 |
| II.8. Procédés de traitement des eaux de chaudières .....               | 23 |
| II.8.1 Prétraitement .....  | 23 |
| II.8.1.1. Dégrillage .....  | 24 |
| II.8.1.2. Micro tamisage.....   | 24 |
| II.8.1.3. Coagulation.....  | 25 |
| II.8.1.4. Flocculation.....   | 26 |
| II.8.1.5. Clarification.....  | 27 |
| II.8.2. Désinfection.....   | 27 |
| II.8.2.1. Ozonation.....  | 27 |
| II.8.2.2. Stérilisation par les rayons U.V.....                         | 27 |
| II.8.2.3. Chloration.....   | 28 |
| II.9. Conditionnement des eaux d'alimentation de chaudières.....        | 28 |
| II.9.1. Traitement d'eau avant le dégazeur.....                         | 28 |
| II.9.2. Dégazage.....   | 28 |
| II.9.3. Traitement par le phosphate trisodique.....                     | 29 |
| II.10. Problèmes causés par de l'eau d'alimentation.....                | 29 |
| II.10.1. Entartrage.....  | 29 |
| II.10.2. Primage.....   | 30 |
| II.10.3. Corrosion.....   | 30 |

|  |    |
|--|----|
| II.11. Conclusion .....  | 32 |
| <b><i>Chapitre III: Matériels et Méthodes</i></b>                                      |    |
| III.1. Introduction.....   | 34 |
| III.2. Equipements et produits chimiques.....  | 34 |
| III.3. Echantillonnage .....   | 35 |
| III.4. Protocole d'échantillonnage.....  | 35 |
| III.5. Paramètres de mesures physico-chimiques des eaux de chaudières.....             | 35 |
| III.5.1. Détermination du potentiel hydrogène (pH).....                                | 35 |
| III.5.2. Détermination de la conductivité électrique.....                              | 36 |
| III.5.3. Détermination du titre alcalimétrique (TA).....                               | 37 |
| III.5.4. Détermination du titre alcalimétrique complet (TAC).....                      | 37 |
| III.5.5. Détermination de la silice (SiO <sub>2</sub> ).....                           | 38 |
| III.5.6. Détermination des phosphates (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ).....            | 38 |
| III.5.7. Détermination du fer total .....  | 39 |
| III.6. Conclusion.....   | 40 |
| <b><i>Chapitre IV: Résultats et discussion</i></b>                                     |    |
| IV.1. Introduction.....  | 42 |
| IV.2. Variation des paramètres de mesure physico-chimiques des eaux de chaudières..... | 42 |
| IV.2.1. Variation du potentiel hydrogène.....  | 42 |
| IV.2.2. Variation de la conductivité électrique.....                                   | 42 |
| IV.2.3. Variation du titre alcalimétrique simple (TA) et complet (TAC).....            | 43 |
| IV.2.4. Variation de la silice (SiO <sub>2</sub> ).....                                | 44 |
| IV.2.5. Variation des phosphates (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ).....                 | 45 |
| IV.2.6. Variation de la teneur en fer.....   | 45 |
| IV.3. Conclusion.....  | 47 |
| <b><i>Conclusion générale</i></b> .....  | 49 |
| <b><i>Références bibliographiques</i></b> .....  | 51 |

# *Introduction générale*

L'eau est une source indispensable dans la vie, son usage est multiples selon nos besoins. A cause de l'accroissement de la population et le développement industriel à Skikda, l'eau risquera d'être rare. La plus grande partie de l'eau est consommée aux besoins de la plateforme pétrochimique de Skikda, comme le nettoyage, le refroidissement, anti incendie et la production de vapeur.

Dans les circuits des chaudières, l'eau provoque des problèmes important qui influencent l'économie des entreprises. Alors, le contrôle de la qualité des eaux de chaudières est un objectif principal, car la mauvaise qualité de l'eau provoque des problèmes majeurs comme l'entartrage, la corrosion conjointement avec le primage. Donc, on est obligé de faire un contrôle précis et rigoureux de la qualité des eaux journallement consommée.

Cette étude a pour objectif de suivre la qualité de l'eau d'alimentation de chaudières au niveau de la raffinerie de Skikda à l'aide des analyses physicochimiques effectuées au sein du laboratoire du complexe. Ce manuscrit ce compose de quatre chapitres dans lesquels sont présentés successivement:

Le premier chapitre est consacré à une présentation générale de la raffinerie de Skikda (RA1/K).

Le second chapitre est une étude bibliographique approfondie sur le traitement des eaux des chaudières. Le principe de fonctionnement, la classification, et les procédés de traitement, sont passés, aussi en revue.

Le troisième chapitre décrit le matériel et les produits utilisés dans notre étude. Les paramètres physico-chimiques et les protocoles expérimentaux sont, également, présentés.

Le quatrième chapitre regroupe l'ensemble des résultats obtenus sur les analyses physico-chimiques de l'eau d'alimentation des chaudières.

Enfin, nous terminerons ce mémoire par une conclusion générale qui résume l'ensemble des résultats de cette étude.

# Chapitre I:

*Présentation du complexe de la  
Raffinerie de Skikda (RA1/K)*

## **I.1. Introduction**

Raffinerie de Skikda, baptisé RA1/K est conçue pour raffiner le pétrole brut provenant de Hassi Messaoud. Le pétrole, tel qu'il a été entreposé à la sortie des pipe-lines de Hassi- Messaoud, est pratiquement inutilisable. Il faut donc traiter le pétrole brut pour obtenir la gamme des produits pétroliers. Dans ce traitement, qu'on appelle le raffinage, on peut distinguer les opérations suivantes: la distillation fractionnelle, le cracking, le reforming ainsi que d'autres traitements chimiques qui permettent d'améliorer ou de modifier certaines propriétés de ces produits.

## **I.2. Historique sur l'organisation de l'activité du raffinage**

Le raffinage était une activité intégrée dans la société nationale SONATRACH. A partir du 01 janvier 1982, le raffinage et la distribution des produits pétroliers sont séparées et érigées en Entreprise Nationale de Raffinage et de Distribution des Produits Pétroliers (ERDP- NAFTAL).

L'E.R.D.P crée par décret N°80-101 du 06 avril 1980. Dans le cadre de la restructuration de la "SONATRACH", et mise en place le 01 janvier 1982. La "E.R.D.P" est placée sous tutelle du ministère de l'énergie et des industries pétrochimiques. A partir du 02 février 1985, la "E.R.D.P" a été transformée sous le nom de "NAFTAL", cette dernière est subdivisée en 04 unités à savoir :

- ✓ Unité NAFTAL de « Raffinage ».
- ✓ Unité NAFTAL de « Distribution ».
- ✓ Unité NAFTAL « Portuaire ».
- ✓ Unité NAFTAL de « Maintenance ».

L'effectif de l'entreprise "NAFTAL" est environ de 35.000 travailleurs, elle est présente sur tout le territoire national. A compter du 25 Août 1987 et par décret N°87-190 fut crée l'entreprise nationale "NAFTEC" de l'entreprise nationale "NAFTAL" et mise en place le 02 janvier 1988.

L'entreprise "NAFTEC" a pour mission de promouvoir, développer, gérer et organiser l'industrie du raffinage : traitement du pétrole brut et du condensât, ainsi que du brut réduit importé en vue d'obtenir des produits raffinés destinés à la consommation nationale et à l'exportation.

Le nombre total des travailleurs est environ: 3500 travailleurs, présents sur l'ensemble de trois raffineries plus la direction générale. Actuellement, l'entreprise nationale de raffinage du pétrole

"NAFTEC" gère l'ensemble des trois raffineries se trouvant dans les villes de : Skikda, Alger et Arzew. La capacité totale de l'entreprise "NAFTEC" seulement est de (28.895.000 t/an) [1].

### I.3. Différentes raffineries en Algérie

Actuellement l'entreprise nationale du raffinage de pétrole NAFTEC dirige l'ensemble des cinq raffineries (Figure I.1). La capacité totale de l'entreprise NAFTEC (Tableau I.1) seulement est de  $24,7.10^6$  t/an.

**Tableau I.1:** Capacité de traitement des raffineries [2].

| Raffinerie                         | Capacité en millions tonnes/an |                      |
|------------------------------------|--------------------------------|----------------------|
|                                    | Avant réhabilitation           | Après réhabilitation |
| Raffinerie de Skikda (RA1/K)       | 15,000                         | 16,500               |
| Topping Condensat (RA2/K)          | 5,000                          | 5,000                |
| Raffinerie d'Alger (RA1/G)         | 2,700                          | 3,645                |
| Raffinerie d'Arzew (RA1/Z)         | 2,500                          | 3,750                |
| Raffinerie de Hassi-Messaoud (RHM) | 1,200                          | 1,200                |
| Raffinerie d'Adrar                 | 0,600                          | 0,600                |
| Total                              | 27,000                         | 30,695               |

#### I.3.1. Raffinerie d'Alger (RA1/G)

Cette raffinerie a pour objectif de traiter le pétrole brut de Hassi Messaoud, afin de satisfaire essentiellement la demande en carburants du marché nationale et de l'exportation (naphta et fuel). Elle est située à 5 Km d'El Harrach et à 20 Km d'Alger, mise en service le 15 février 1964 avec une augmentation de la capacité de traitement de la raffinerie d'Alger pour porter sa capacité à 3,645 millions tonnes/an de pétrole brut. Soit une augmentation de 35%. Actuellement sa capacité de traitement est de 2,7 millions tonnes/an, la raffinerie comprend les installations suivantes :

- ✓ Unité de distillation atmosphérique.
- ✓ Unité gas-plant pour la séparation et traitement de GPL.
- ✓ Unité de reforming catalytique.

- ✓ Unité de mélange (éthylamine) pour la fabrication des essences.
- ✓ Pompe d'expédition des produits par pipes line aux dépôts d'Alger, Blida, au port pétrolier et à l'aéroport houari Boumediene.
- ✓ Central thermos-électrique pour les besoins énergétiques de la raffinerie (vapeur d'eau, électricité, air instrument).
- ✓ Port pétrolier équipé de 3 postes de chargement pour les exportations, les cabotages et une station de déballastage [2].

### **I.3.2. Raffinerie d'Arzew (RA1/Z)**

La RA1/Z est mise en service en 1973 avec une augmentation de la capacité de traitement de la raffinerie d'Arzew pour porter sa capacité à 3,75 millions tonnes/an de pétrole brut. Soit une augmentation de 50%. Actuellement la capacité de traitement est de 2,5 millions tonnes/an, elle répond aux impératifs suivants :

- ✓ Traiter le pétrole de Hassi-Messaoud (RHM) et le BRI.
- ✓ Satisfaire la consommation du marché national en carburants, lubrifiants, bitumes, fuel et paraffines.
- ✓ Exporter les excédents : principalement les fuels, naphta et kérosène.

La raffinerie d'Arzew (RA1/Z) comprend les installations suivantes :

- ✓ Une unité de distillation atmosphérique.
- ✓ Une unité de reforming catalytique.
- ✓ Une unité de séparation des gaz.
- ✓ Une unité de distillation sous vide et d'oxydation pour la production de bitumes routiers.
- ✓ Deux unités de production de lubrifiants et graisses [3].

### **I.3.3. Raffinerie de Hassi Messaoud**

La raffinerie de Hassi Messaoud est une ancienne raffinerie (RHM1) mise en service en 1960 et assurant une capacité de 120000 t/an de carburants et de butane, une nouvelle raffinerie (RHM2) d'une capacité de traitement de pétrole brut est de 1116500 t/an, mise en service en 1979.

### I.3.4. Raffinerie de Skikda (RA1/K)

Mise en service en 1980 avec une capacité de traitement de pétrole brut de 15000000 t/an et de 27700 t/an de Bri. Elle est spécialisée dans la bitumes et des GPL et carburant, près de 80% de sa production destinée à l'exportation.

### I.3.5. Raffinerie de Ain Amenas

La raffinerie de Ain Amenas est mise en service en 1980 pour traiter 300000 t/an de gaz brut pour produire les GPL, carburant (essence, kérosène) et le gasoil (elle est à l'arrêt pour des problèmes techniques).

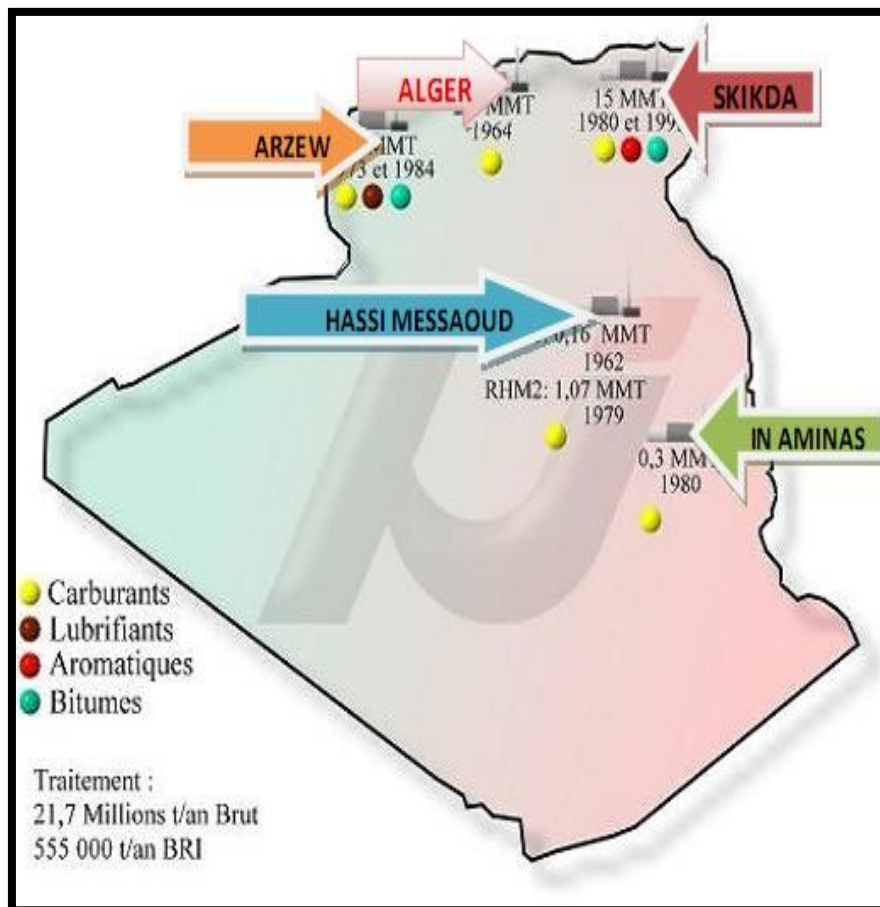


Figure I.1: Différentes raffineries en Algérie [4].

## I.4. Description de la raffinerie de Skikda

Le complexe de la raffinerie du pétrole de Skikda, baptisé RA1/K, a pour mission de transformer le pétrole brut provenant de Hassi Messaoud avec une augmentation de la capacité de traitement de la raffinerie de Skikda pour porter sa capacité à 16,5 millions tonnes/an de pétrole brut. Soit une augmentation de 10%. Actuellement la capacité de traitement est de 15 millions tonnes/an [5].

### I.4.1. Situation géographique de la raffinerie de Skikda

Cette raffinerie est située dans la zone industrielle à 7 Km de l'est de Skikda et à 2 Km de la mer (Figure I.2). Elle est aménagée sur une superficie de 190 hectares avec un effectif d'environ de 1440 travailleurs à l'heure actuelle. Elle est alimentée en brut algérien par l'unité de transport est l'ETU de Skikda (station intermédiaire de Hassi Messaoud). Le transport du pétrole brut est réalisé à l'aide d'un pipe-line entre les champs pétroliers et la raffinerie de Skikda à distance de 760 km [4].

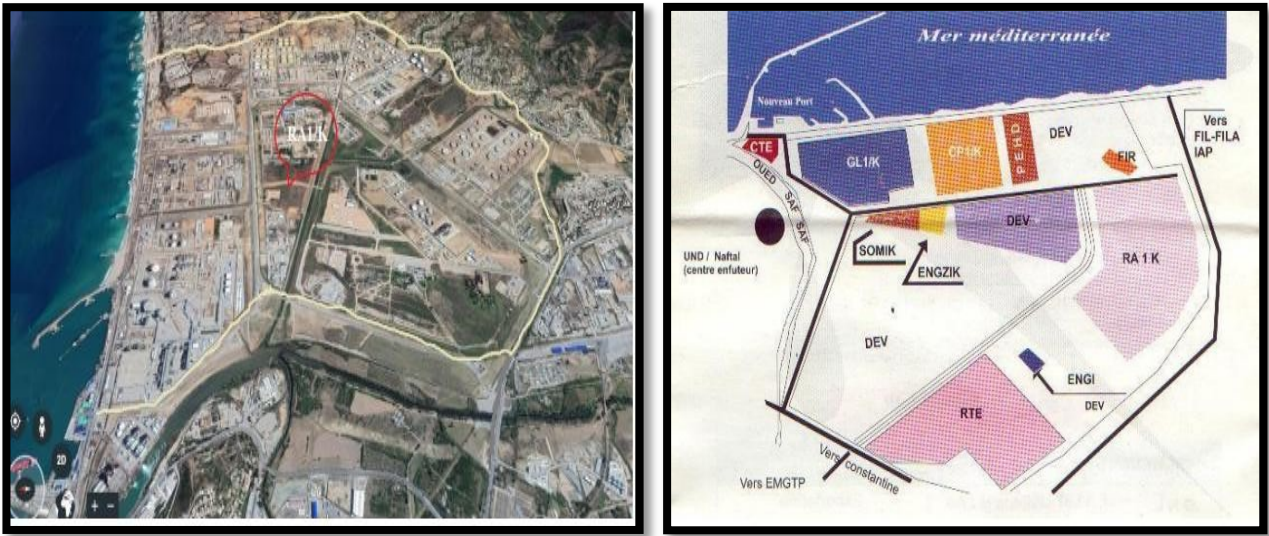


Figure I.2 : Situation géographique de la raffinerie de Skikda (RA1/K) [2, 6].

### I.4.2. Construction de la raffinerie de Skikda

La raffinerie de Skikda a été construite en janvier 1976 à la suite d'un contrat signé le 30 avril 1974 entre le gouvernement algérien et le constructeur italien SNAM PROGETTI et SAIPEM, il a été mis en vigueur du contrat une année après (le 11 mars 1975) assisté par les trois principales sociétés nationales: SONATRO, SONATIBA et SNMETAL. Le démarrage du chantier est commencé le 02 janvier 1976, et pris la fin de mars 1980, le démarrage progressif des unités de production est montré dans le tableau I.2.

**Tableau I.2:** Développement des unités de production [4, 7].

| Procédé   | Capacité (t/an) | Date      |
|---|-----------------|-----------|
| Topping (U10)                                       | 7.500.000       | 1980      |
| Topping (U11)                                       | 7.500.000       | 1980      |
| Séparation GPL (U30)                                | 306.500         | 1980      |
| Séparation GPL (U31)                                | 283.000         | 1980      |
| Reforming catalytique (U100)                        | 1.165.000       | 1980      |
| Extraction et fractionnement des aromatiques (U200) | 285.000         | 1980      |
| Cristallisation du para xylène (U400)               | 430.000         | 1980      |
| Distillation sous vide et oxydation (U70)           | 277.000         | 1980      |
| Reforming catalytique (U103)                        | 1.165.000       | 1993      |
| Séparation GPL (U104)                               | 96.000          | 1993      |
| Parc de stockage (U600)                             | 2.700.000       | 1980-1993 |

#### I.4.3. Structure hiérarchique de la raffinerie de Skikda

La structure hiérarchique de la gestion de la raffinerie de Skikda prévoit à son sommet un Directeur général duquel dépend de cinq services techniques de ligne et plus de deux staffs comme le montre dans l'organigramme suivant (Figure I.3).

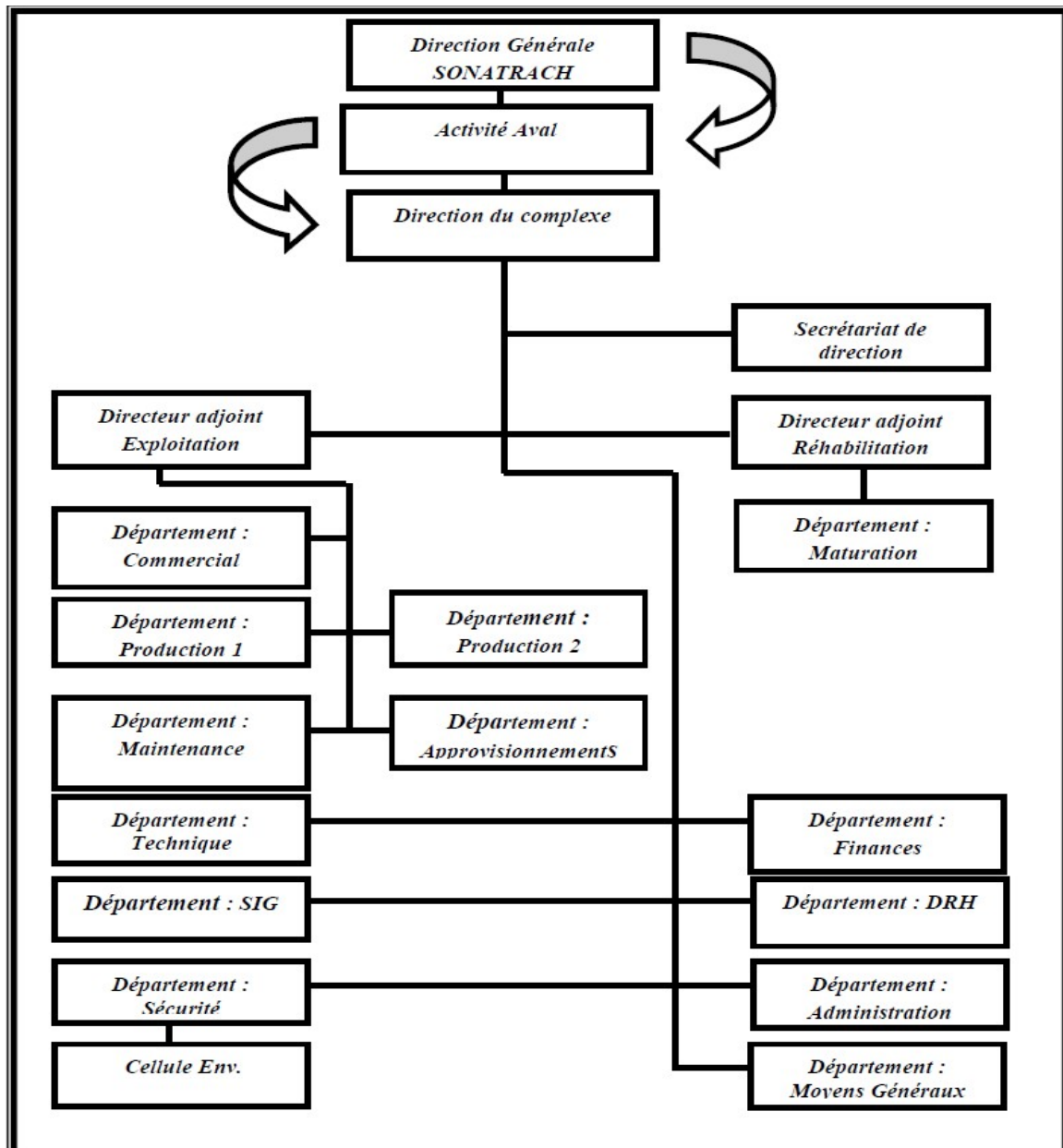


Figure I.3: Organigramme de la structure hiérarchique de la raffinerie de Skikda (RA1/K) [7].

#### I.4.4. Différentes unités de production de la raffinerie de Skikda

La raffinerie de Skikda se compose des différentes unités suivantes:

- ✓ Unité 10/11 : Distillation atmosphérique (TOPPING).
- ✓ Unité 100: Prétraitement et de reformage catalytique (MAGNAFORMING); (avant réhabilitation).
- ✓ Unité 101/103: Prétraitement et de reformage catalytique (PLATFORMING).
- ✓ Unité 30/31 et 104 : Traitement et séparation des gaz (GPL).

- ✓ Unité 200 : Extraction des aromatiques.
- ✓ Unité 400 : Cristallisation et séparation du para xylène.
- ✓ Unité 500 : Isomérisation de m, ortho xylène en para xylène.
- ✓ Unité 700/701/702/703 : Isomérisation du naphta léger A.
- ✓ Unité 70 : Distillation sous vide (Production des bitumes).

Les utilités sont:

- ✓ Unité 600 : Stockage, mélange et expédition (MELEX).
- ✓ Unité 1050 : Centrale thermique électrique et utilités (C. T. E).
- ✓ Unité 900 : Purification de l'hydrogène.

## I.4.5. Description des différentes unités de production

### I.4.5.1. Unités de distillation atmosphérique (Topping) U10-11

Le Topping ou la distillation atmosphérique a pour but de fractionner le brut en différentes coupes stabilisées pouvant être utilisées pour l'obtention de produits finis (Naphta, Gasoil, Jet) ou devant alimenter d'autres unités situées en aval (Magnaforming, Platforming, Gaz-plant). Elles traitent le brut de Hassi Messaoud avec une capacité annuelle de 15.106 t/an pour produire les produits suivants :

- ✓ GPL —————> Unité 30.
- ✓ Iso pentane —————> Mélange des essences.
- ✓ Naphta A —————> Stockage.
- ✓ Naphta B (65°-150°) —————> Reforming catalytique.
- ✓ Naphta C (150°-180°) —————> Huiles combustible.
- ✓ Kérosène (180°-225°) —————> Jet fuel, mélange des gasoils.
- ✓ Gasoil léger (225°-320°) —————> Mélange des gasoils.
- ✓ Gasoil lourd (320°-360°) —————> Mélange des gasoils.
- ✓ Résidu (> 360°) —————> Huiles combustible.

### I.4.5.2. Unités 100 et 103 (unité Magnaforming, platforming)

L'unité 100 appelé auparavant Magnaforming, elle utilisait un catalyseur à base de magnésium. Actuellement et après revamping les deux unités ont le même type de catalyseur à base de platine (platforming), les deux unités ont pour but de transformer la Naphta moyenne obtenue du Topping (réformât) utilisé comme charge pour les unités d'aromatiques (unité 200 et 400). Cette transformation a pour conséquence une augmentation de l'indice d'octane de 45 à

99 permet ainsi d'utiliser le réformât obtenu pour la fabrication des essences [2].

#### **I.4.5.3. Unité d'extraction des aromatique U 200**

L'installation d'extraction des aromatiques a été projeté pour extraire de l'essence réformée des aromatiques qui seront fractionnées par la suite en benzène et toluène très pures. La charge est constituée par la coupe de réformât léger provenant directement de la colonne C5 splitter du réformât de l'unité 100. Dans le premier stade: les aromatiques sont fractionnés à l'aide d'un solvant sélectif qui est le Sulfo. Dans le deuxième stade: le raffinat constitué principalement des hydrocarbures paraffinés est envoyé vers le stockage. L'extrait alimente la section fractionnement où il est séparé en benzène, toluène et en aromatiques lourds par distillation [2].

#### **I.4.5.4. Unité de séparation du paraxylène U 400**

Cette unité est conçue pour récupérer le paraxylène, un produit très recherché sur le marché. La charge venant de l'unité de magnaforming (avant réhabilitation), elle permet par cristallisation de séparer le paraxylène des autres xylènes (métha-ortho) et éthyle-benzène. Le paraxylène est commercialisé comme telle, le reste peut être utilisé comme base pour l'obtention des essences ou commercialisé sous forme de mélange xylènes pouvant être utilisé comme solvant pour la fabrication des peintures,...etc.

#### **I.4.5.5. Unité de production de bitume U70**

L'unité 70 a été conçue pour traiter 271100 t/an de brut réduit importé (BRI) qui peut être:

- ✓ Charge A : Résidu TIA juan a médium 372 C plus.
- ✓ Charge B : Résidu TIA juan a lourd 450 °C plus.
- ✓ Charge C : Résidu du brut du Koweït.

Elle se compose principalement d'une colonne de distillation sous vide et d'un réacteur d'oxydation des bitumes. Le produit de fond de colonne est le bitume routier ordinaire qui est devise en deux parties :

- ✓ Une partie vers le stockage,
- ✓ Une partie comme charge à la section d'oxydation où elle sera oxydée au moyen de l'air en bitume oxydé [3].

#### I.4.5.6. Unités de séparation et traitement des gaz U30-31-104

Ces unités sont destinées à traiter les gaz liquides venant des unités 10, 11,100 et 103 dans l'ordre suivant :

- ✓ Unité 30 : Traite le gaz liquide qui vient de l'unité 100 en particulier ceux de tête de la colonne C7 où les GPL sont séparés du pentane.
- ✓ Unité 31 : Reçoit les gaz provenant de la tête des colonnes de stabilisation de l'essence des deux unités de Topping.
- ✓ Unité 104 : Elle a été conçue dernièrement avec la nouvelle unité de Plat forming 103 afin de traiter les GPL venant de cette unité.

Le traitement des gaz dans ces unités est accompli en deux stades :

- ✓ Dans le premier stade : On fait subir au gaz un traitement qui consiste à passer la charge qui est le méthane, éthane, propane, butane, H<sub>2</sub>S et l'humidité à travers une colonne contenant des tamis moléculaires qui possèdent la propriété de retenir l'humidité et l'acide H<sub>2</sub>S par le phénomène d'absorption.
- ✓ Dans le deuxième stade : C'est l'étape de séparation des gaz effectuée par deux colonnes dont le premier (d'éthaniseur). On fait le stripping des gaz incondensables (C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>) qu'on envoi à partir de la tête vers le réseau fuel gaz, le produit du fond (butane, propane) alimente la 2<sup>ème</sup> colonne où le propane est séparé du butane par simple distillation 8].

#### I.4.5.7. Unité d'isomérisation du naphta léger a U700/701/702/703

L'objectif de l'unité 700 hydrotraitement du naphta léger est de produire des charges d'alimentation hydro traitées propres pour alimenter l'unité 701 d'isomérisation. Ces charges d'alimentation doivent être suffisamment basses en contaminants tels que le soufre, l'azote, l'eau, les halogènes, les dioléfines, les oléfines, l'arsenic, le mercure et d'autres métaux afin de ne pas affecter les unités en aval.

## **I.4.6. Description des utilités**

### **I.4.6.1. Unité Melex U600**

La raffinerie possède une capacité de stockage de 2.500.000 m environ. L'unité comprend les équipements nécessaires au mouvement blending (mélange) et exportation des produits finis. L'évacuation des produits finis se fait par un réseau de canalisation vers les deux ports de Skikda, Les dépôts GPL et carburants de Skikda ainsi que le centre installation intégrée de distribution du Khroub (Constantine).

L'évacuation du bitume routier se fait quant à elle par camions et par pipeline vers le port. La majorité des produits finis sont obtenues à partir de mélange de plusieurs produits de base, car il serait difficile d'obtenir directement (tout en restant dans les limites de la rentabilité) des produits répondant aux spécifications.

### **I.4.6.2. Unités 1050 : centrale thermoélectrique et utilités (CTE)**

C'est le système nerveux de la raffinerie, elle assure les utilités indispensables pour la marche de toutes les unités. Elle se compose de 11 sections à savoir :

- ✓ La section 1020 ou tours de refroidissement de l'eau.
- ✓ La section 1030 pour le stockage et le pompage de l'eau de barrage ou de l'eau potable.
- ✓ La section 1040 pour le stockage et le pompage de l'eau anti-incendie.
- ✓ La section 1050 pour la génération de la vapeur « chaudières ».
- ✓ La section 1060 pour la récupération et le traitement du condensât.
- ✓ La section 1070 ou système Fuel-gas.
- ✓ La section 1080 pour la production de l'air instrument et l'air service.
- ✓ La section 1100 pour le traitement des effluents.
- ✓ La section 1110 de production de l'azote (N<sub>2</sub>).
- ✓ La section de production de l'électricité.
- ✓ La section 63 pour déminéraliser l'eau brute provenant de barrage pour l'alimentation des chaudières et les autres unités par l'eau de service [7].

**I.4.6.3. Unités 900 : Purification de l'hydrogène**

L'unité de purification d'hydrogène (UNIT 900) est conçue pour produire de l'hydrogène de haute pureté pour l'unité 500 et les unités 700, 701, 702 et 703.

L'unité HPU se compose du compresseur de gaz d'alimentation, du package PSA, du compresseur des effluents gazeux. Le gaz riche en H<sub>2</sub> provenant de l'unité Magnaforming (unité 100) et de l'unité de Reforming catalytique catalytique (unité 103), est comprimé par le compresseur de gaz d'alimentation (900-K-51 A/B). Le procédé d'adsorption de package PSA exige une pression élevée (environ 24 Kg /cm<sup>2</sup> G). L'hydrogène de haute pureté est produit par le procédé d'adsorption d'écart de pression (PSA) [7].

**I.5. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons exposé premièrement l'historique sur l'organisation de l'activité du raffinage et les différentes raffineries en Algérie. Par la suite, nous avons présenté la raffinerie de Skikda (RA1/K), dans laquelle nous avons décrit la situation géographique, la construction et la structure hiérarchique ainsi que les différentes unités de production de la raffinerie de Skikda (RA1/K).

Dans le chapitre qui suit, nous présenterons des généralités sur les procédés d'épuration des eaux résiduaires industrielles qui rentrent dans la réutilisation dans le circuit de refroidissement.

## *Chapitre II:*

*Procédés d'épuration des eaux de  
chaudières*

## II.1. Introduction

La qualité de l'eau d'alimentation et de l'eau de chaudière est un élément primordial pour le bon fonctionnement des chaudières. Toutefois l'eau à l'état naturel n'est jamais pure, c'est un milieu vivant qui se pollue et se charge de matières polluantes organiques et inorganiques selon le sol traversé. La présence de ces nombreuses impuretés impose un traitement de ces eaux avant utilisation, visant à la rendre conforme aux normes d'utilisation industrielles.

Les méthodes de traitement sont très variables selon la composition de l'eau brute. D'une manière générale l'eau doit être débarrassée des matières solides en suspension, des sables, déminéralisée, dégazée puis conditionnée par addition d'espèces réductrices.

## II.2. Définition d'une chaudière

Une chaudière est un générateur de chauffage sous forme d'eau chaude. La chaudière est liée à son combustible, gaz, fioul, bois ou électricité (Figure I.1). Les chaudières sont à la fois des systèmes industriels et ménagers, et sont un conteneur de grande capacité la surface chauffante sur laquelle la source de chaleur est utilisée la chaleur dégagée par la combustion du charbon, fioul, gaz, bois, déchets ou chaleur dans un autre liquide, etc.. Pour produire de la vapeur dans des conditions de température et de pression spécifiées [2, 3].

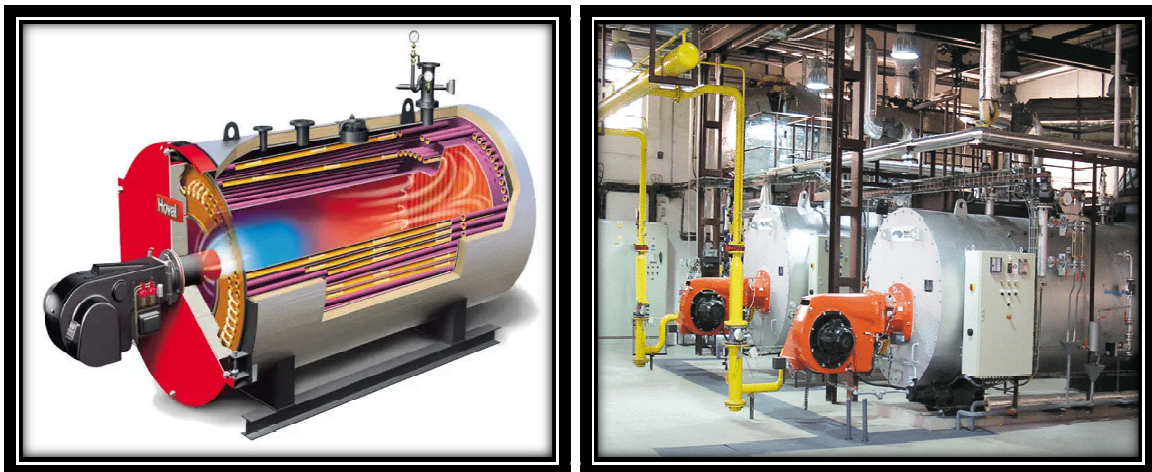


Figure II.1: Chaudière industrielle [1]

## II.3. Principe de fonctionnement des chaudières

Le principe dépend de l'introduction d'un flux de gaz brûlés à travers des tuyaux en fer qui transfèrent la chaleur à l'eau environnante à l'intérieur du corps de la chaudière.

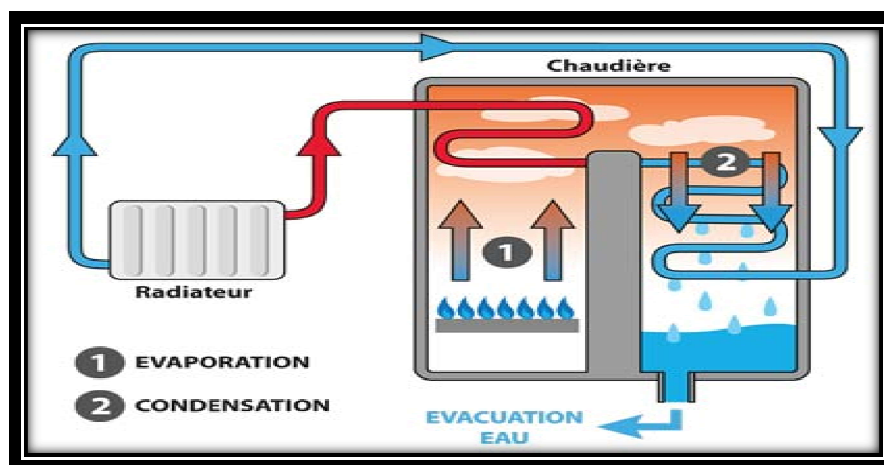
Les chaudières diffèrent par leur conception, mais la plupart d'entre elles sont basées sur le même principe (Figure I.3). Il y'a un ensemble de tubes placés horizontalement qui

transportent les gaz de combustion, et il y a aussi une sortie pour les gaz chauds, une ligne d'alimentation en eau et une ligne de sortie de vapeur pendant le processus. De la zone de combustion, le combustible brûlant transfère la chaleur vers l'eau entourant la chambre de combustion et les gaz chauds frappent l'onduleur et traversent les tuyaux.

Lorsque la température de l'eau augmente, une partie se transforme en vapeur, et ce dernier est moins dense que l'eau du bas, c'est-à-dire qu'elle flotte vers le haut et que la vapeur s'accumule au-dessus du niveau de l'eau puis traverse la ligne de sortie de vapeur, et l'eau qui traverse la ligne d'alimentation est plus lourde et plus dense que la vapeur, et elle descend dans Le fond de la chaudière est chauffé et ainsi le cycle continue [6]. Quel que soit le modèle que vous avez, le principe de fonctionnement d'une chaudière repose sur des éléments qui varient peu :

Une chaudière a besoin d'un carburant, d'une source d'énergie : bois, fioul, gaz, électricité, ou plus récemment, air. Pour les chaudières à combustion, le carburant est brûlé, et c'est cette action qui produit de la chaleur. Pour les modèles électriques ou thermodynamiques, il n'y pas de combustion, mais utilisation d'une source d'énergie "invisible". Dans tous les cas, l'énergie utilisée ou dégagée par la combustion sert à produire de la chaleur, qui se transmet ensuite à des circuits reliés à des émetteurs de chaleur (radiateurs, planchers chauffants) et/ou au dispositif d'alimentation en eau chaude.

Les vapeurs dégagées et résidus de combustion sont évacués, sauf dans les modèles à condensation, dans lesquels la vapeur est réutilisée en circuit interne [1].



**Figure II.2:** Schéma de principe de fonctionnement de la chaudière [7]

## II.4. Classification des chaudières

Les chaudières peuvent être classées:

- ➔ Selon le type de combustible: Solide, liquide ou gazeux (chaudière à grande puissance).
- ➔ Selon la source de chaleur: Un fluide chaud (chaudière de récupération), il s'agit de récupération de chaleur en exploitent un gaz d'échappement de turbine, de four, ou de moteur diesel ou un sous-produit de réaction chimique.
- ➔ Selon le mode d'emploi : On distingue: Les chaudières fixes et les chaudières mobiles.
- ➔ Selon la disposition: On distingue la chaudière horizontale ou verticale.
- ➔ Selon la nature de vapeur produite: comme chaudière à basse pression, chaudière à moyenne pression, chaudière à haute pression.
- ➔ Selon le mode de construction: Chaudière à tube d'eau, chaudière à tube de fumées, chaudière à faisceaux tubulaires.
- ➔ Selon le mode de circulation de l'eau: Chaudière à circulation naturelle, chaudière à circulation forcée.

## II.5. Différents types des chaudières

Selon le mode de construction, on distingue:

### II.5.1. Chaudière à tube de fumée

Ce type de chaudière fournit un débit de vapeur saturée de 1 à 25 tonnes/heure, en basse et moyenne pression. Le combustible utilisé est soit du gaz soit du fioul. Une chaudière à tubes de fumées (Voir la figure II.3) est constituée d'un grand réservoir d'eau traversé par des tubes dans lesquels circulent les fumées. Le premier tube du parcours de fumées est un tube de plus gros diamètre qui constitue le foyer. Ce type de construction est aujourd'hui utilisé presque exclusivement pour les combustibles gazeux et liquides [11].

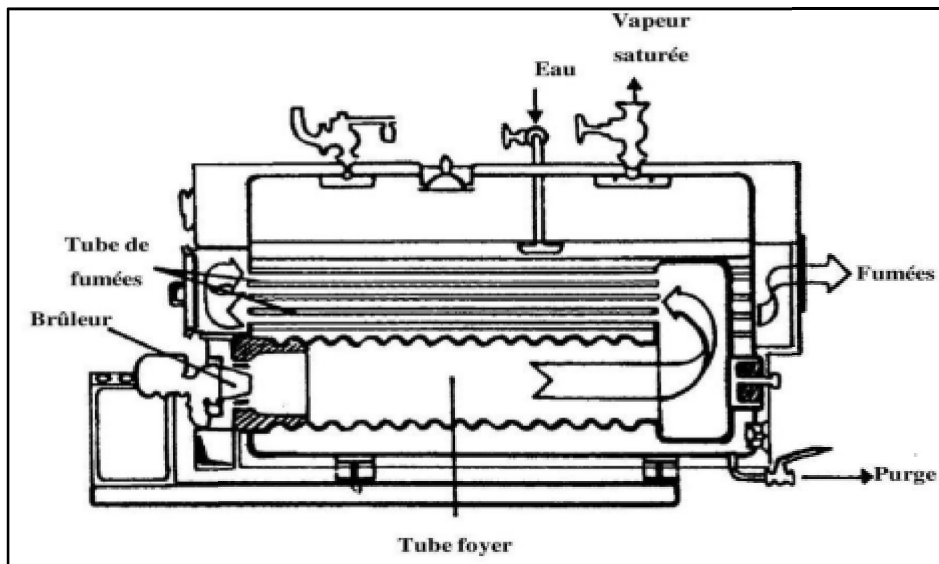


Figure II.3 : Description d'une chaudière à tube de fumée [12].

### II.5.2. Chaudière à tube d'eau

Ce type de chaudière (Figure II.4) fournit un débit de vapeur surchauffée supérieur à 20 tonnes/heure, en moyenne et haute pression. Le combustible utilisé est soit du gaz, de la fioule, du charbon ou déchets. Dans cette construction, c'est le fluide caloporteur qui circule dans les tubes, les gaz chauds circulant à l'extérieur de ceux-ci. Le foyer a toujours un volume très important. De plus, il a la possibilité d'être ouvert dans sa partie inférieure [12].

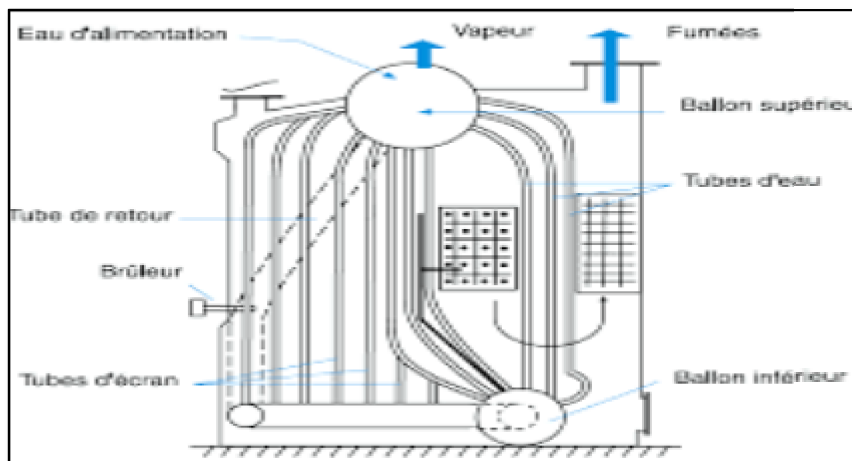
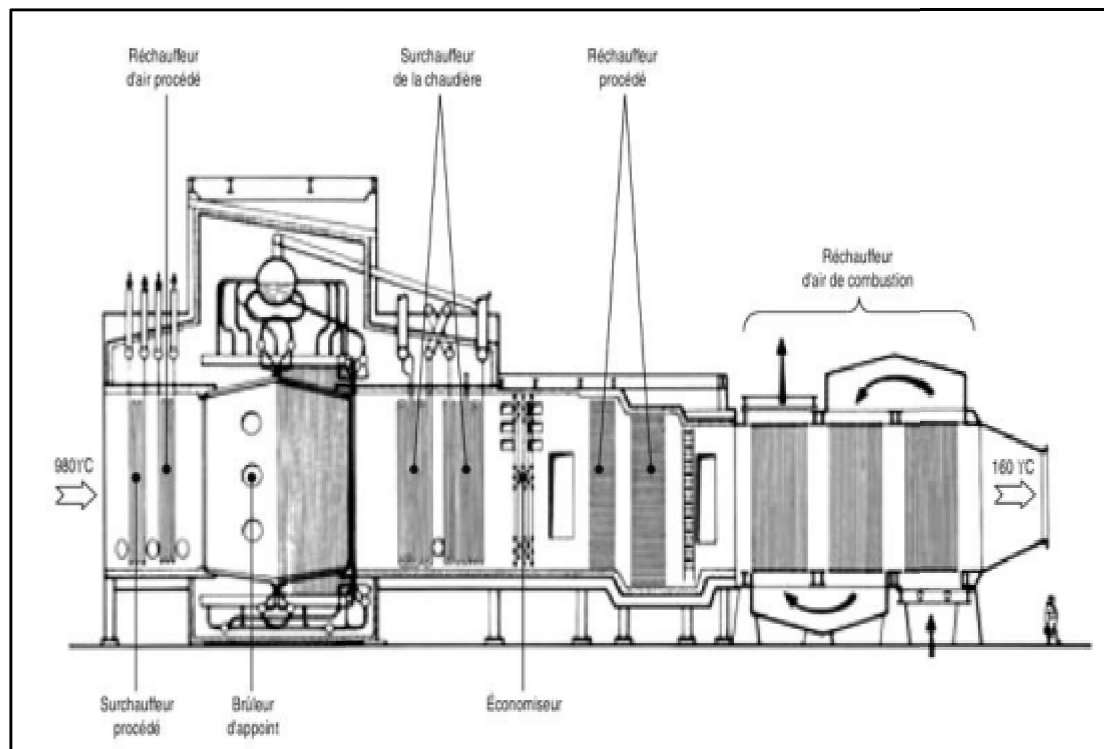


Figure II.4 : Description d'une chaudière à tube d'eau [11].

### II.5.3. Chaudière de récupération

La technologie est spécifique et est plus ou moins éloignée de celles des chaudières conventionnelles comme le montrent l'exemple suivant (Figure II.5). Chaudière de récupération sur les fumées d'un four de reformage primaire d'une usine d'ammoniac : La

chaleur sensible des fumées à 980 °C ne suffisant pas à produire le débit de vapeur nécessaire à l'atelier, la chaudière est équipée de brûleurs additionnels.



**Figure II.5:** Chaudière de récupération dans une usine d'ammoniac

## II.6. Eau d'alimentation de la chaudière

L'eau d'alimentation de la chaudière (Boiler feed water) est une partie essentielle des opérations de la chaudière. L'eau d'alimentation est introduite dans le tambour à vapeur à partir d'une pompe d'alimentation. Dans le tambour à vapeur, l'eau d'alimentation est ensuite transformée en vapeur à partir de la chaleur. Une fois la vapeur utilisée, elle est ensuite déversée dans le condenseur principal. À partir de ce dernier, elle est ensuite pompée vers le réservoir d'alimentation désaéré. De ce réservoir, il retourne ensuite au tambour à vapeur pour terminer son cycle. L'eau d'alimentation n'est jamais ouverte à l'atmosphère. Ce cycle est appelé système fermé ou cycle de Rankine [1].

## II.7. Caractéristiques de l'eau de l'alimentation d'une chaudière

Les caractéristiques de l'eau de l'alimentation d'une chaudière sont illustrées dans le tableau suivant :

**Tableau II.1:** Caractéristiques de l'eau d'alimentation [3].

| Désignation                        | Normes         |
|------------------------------------|----------------|
| Température                        | 125C°          |
| Dureté totale (CaCO <sub>3</sub> ) | 0-0,5 ppm      |
| PH                                 | 7- 9,5         |
| Salinité                           | 1-5 ppm        |
| Matières                           | 0,5-5 ppm      |
| Cuivre                             | 0,03-0,05 ppm  |
| Fer                                | 0,01-0,04ppm   |
| Silice                             | 0,02-0,03ppm   |
| Oxygène                            | 0,005-0,02 ppm |

Les caractéristiques de l'eau dans la chaudière sont récapitulées dans le tableau suivant:

**Tableau II.2:** Caractéristiques de l'eau dans la chaudière [3].

| Désignation         | Normes                   |
|---------------------|--------------------------|
| Conductivité        | 1000 $\mu$ s/cm          |
| PH à 25°C           | 9,5-10                   |
| PO <sub>4</sub> max | 5 ppm                    |
| SiO <sub>2</sub>    | 2 ppm                    |
| Alcalinité          | 20 ppm CaCO <sub>3</sub> |

## II.8. Procédés de traitement des eaux de chaudières

Le traitement de l'eau de chaudière est un type de traitement de l'eau industriel qui se concentre sur l'élimination des éléments organiques et inorganiques qui peuvent endommager la chaudière. Le traitement de l'eau de chaudière vient éviter l'entartrage, la corrosion, ou la présence de mousse. L'eau brute de la chaudière est traitée avant que les polluants/impuretés n'atteignent la chaudière. Le but interne du traitement de l'eau de la chaudière est d'empêcher

la fonte de la chaudière et de maintenir les contaminants dans des formations et des niveaux qui n'endommagent pas la chaudière ou ne provoquent pas de surchauffe [14].

## II.8.1 Prétraitement

Le prétraitement est une étape qui consiste en un certain nombre d'opérations physiques ou mécaniques destinés à extraire le maximum d'éléments dont la nature et la dimension constitueraient une gêne ultérieurement. Ces opérations sont : le dégrillage, le dessablage et le déshuilage [15].

### II.8.1.1. Dégrillage

Le dégrillage est un prétraitement qui a pour rôle de débarrasser les eaux usées des polluants solides les plus volumineux qui pourront gêner les traitements ultérieurs voire endommager les équipements (Figure II.6), permet :

- de protéger les ouvrages aval contre l'arrivée de gros objets susceptibles de provoquer des bouchages dans les tuyauteries de liaison, voire dans les différentes unités de l'installation;
- de séparer et d'évacuer facilement les matières volumineuses charriées par l'eau brute qui pourraient nuire à l'efficacité des traitements d'eau et de boues, ou au moins compliquer leur exécution, et leur exploitation.



**Figure II.6:** Grilles à nettoyage manuel

On emploie parfois les mêmes grilles pour éliminer les filasses des boues. L'opération est plus ou moins efficace, en fonction de l'écartement entre barreaux de grille. On peut distinguer :

- Pré-dégrillage, pour écartement supérieur à 40 mm;
- Dégrillage moyen, pour écartement de 40 à 10 mm;
- Dégrillage fin, pour écartement de 10 à 6 mm;
- Tamisage, pour écartement de 6 à 0,5 mm [4].

### II.8.1.2. Micro tamisage

Le micro-tamisage permet l'enlèvement des fines matières en suspension (MES) présentes dans l'eau à l'aide d'une toile métallique (microtamis) à mailles très serrés (Voir la figure II.7). Ces dernières sont habituellement montées sur un cylindre rotatif horizontal (bien qu'il en existe également d'autre types) qui est installé de façon à ce qu'il soit partiellement immergé. Un système à nettoyage automatique est requis pour éliminer les MES retenues lorsque l'eau traverse les microtamis [5].



Figure II.7: Microtamisage

### II.8.1.3. Coagulation

Processus de coagulation : pour collecter les matières en suspension là où les particules très fines ne peuvent pas être éliminées par le processus de sédimentation, car les particules grosses et lourdes se déposent facilement au fond, mais les particules plus petites ont besoin d'un temps très tout. C'est pourquoi le processus de sédimentation doit être précédé d'un processus chimique appelé coagulation, un processus par lequel des produits chimiques sont ajoutés à l'eau pour rassembler les particules immatures en blocs de solides plus gros.

Le sulfate d'aluminium est l'un des coagulants les plus couramment utilisés pour purifier l'eau, et d'autres produits chimiques tels que le sulfate ferrique ou l'aluminate de sodium peuvent également être utilisés. Le processus de coagulation (Figure II.8) se déroule généralement en deux étapes: un mélange rapide et un mélange lent. Le mélange rapide distribue les coagulants uniformément et uniformément dans l'eau; Pour s'assurer qu'une réaction chimique se produit complète, alors une période plus longue de coagulation lente est

requis et ceci est réalisé par un processus de mélange lent; Pour améliorer les collisions de particules et favoriser la croissance de grumeaux [6].

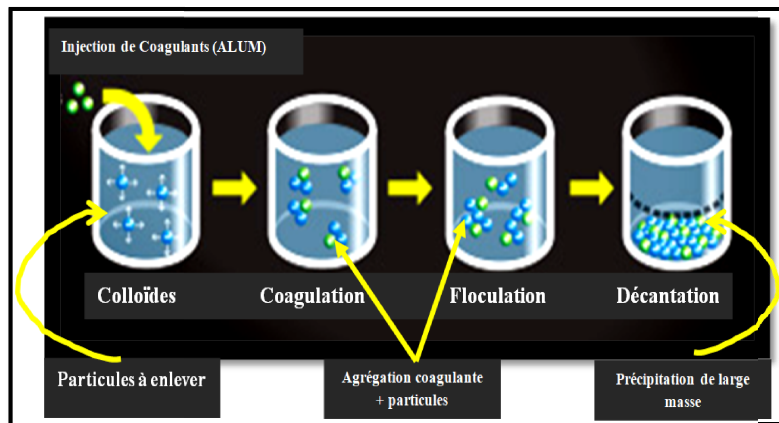


Figure II.8 : Procédé de coagulation

**II.8.1.4. Flocculation**

La croissance de floes par une agitation lente et prolongée de l'eau provenant des bassins de coagulation (Figures II.9 et II.10). Elle est réalisée dans un bassin pourvu d'une unité mécanique d'agitation et implique habituellement l'ajout d'un flocculant [7].

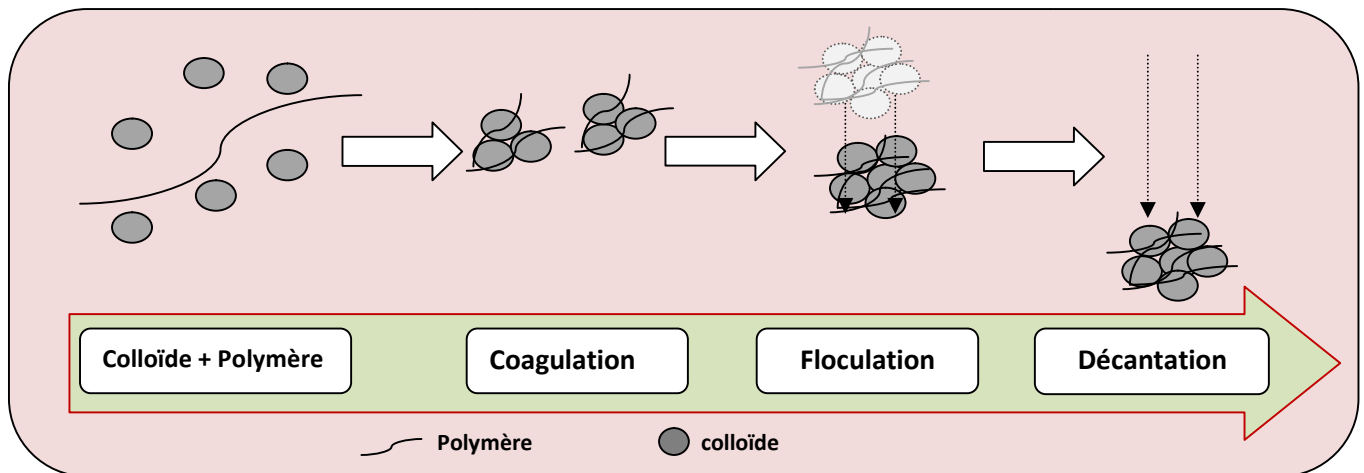


Figure II.9 : Phénomène de coagulation-flocculation

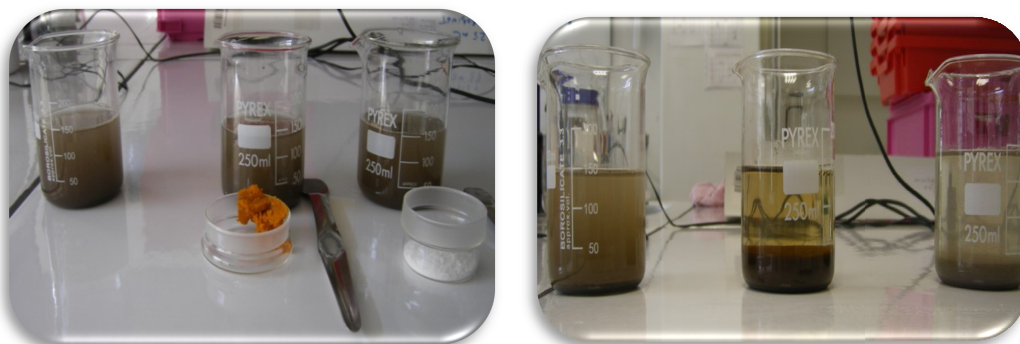


Figure II.10: Procédé de flocculation

### **II.8.1.5. Clarification**

La clarification est un processus consistant à clarifier l'eau contenant des particules en suspension. La méthode utilisée peut être, par exemple, la filtration, la centrifugation ou fine.

Ces procédés permettent la séparation de la phase liquide, des éléments solides qui la troublent généralement [8].

### **II.8.2. Désinfection**

La désinfection est l'étape ultime du traitement de l'eau de consommation avant distribution. Elle permet d'éliminer les micro-organismes pathogènes de l'eau. Il peut subsister dans l'eau quelques germes banals, car la désinfection n'est pas une stérilisation de tous les germes présents dans un milieu.

#### **II.8.2.1. Ozonation**

L'ozonation est un traitement chimique par oxydation. L'utilisation de réactifs chimiques oxydants pour le traitement des eaux a visé au départ la stérilisation de l'eau, ou, plus exactement, la destruction des germes pathogènes. L'ozone a l'avantage de permettre des actions complémentaires dans la destruction d'un grand nombre de micropolluants et dans l'amélioration des goûts, des odeurs et dans la destruction des couleurs.

La désinfection par l'ozone exige que l'eau à ozoner ne contienne plus de manganèse soluble ( $Mn^{2+}$ ) sous peine de communiquer à l'eau une couleur rose. Cette couleur évolue ensuite vers le brun-marron par suite de la précipitation de  $MnO_2$  [9].

#### **II.8.2.2. Stérilisation par les rayons U.V**

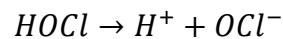
La stérilisation aux ultraviolets est l'une des méthodes de traitement de l'eau les plus efficaces pour la désinfection. Les stérilisateur UV agissent rapidement pour cibler et stabiliser toutes les impuretés biologiques présentes dans l'eau. Il n'y a pas besoin de produits chimiques supplémentaires, ce qui permet de réduire les coûts, notamment de ne pas contenir le risque de surdosage. Une fois le processus de stérilisation terminé, jusqu'à 99% des germes seront tués en moins de 10 secondes par exposition aux UV. La facilité d'installation et l'absence de changement de pH, de goût et d'autres éléments de l'eau font la réputation du traitement UV de l'eau [10].

### II.8.2.3. Chloration

Pour éviter le développement d'organismes végétaux et animaux, l'injection d'eau de javel est indispensable. L'hypochlorite de sodium réagit rapidement dans l'eau pour former de l'acide hypochloreux selon la réaction:



L'acide hypochloreux (HOCl) est un acide faible qui réagit de la façon suivante:



La distribution de HOCl et (OCl<sup>-</sup>) varie considérablement en fonction du pH : plus le pH est élevé, plus la proportion des ions hypochlorites (OCl<sup>-</sup>) sera élevée aussi. Il est important de tenir compte de ce phénomène car l'acide hypochloreux est un désinfectant beaucoup plus efficace que les ions hypochlorites [11].

## II.9. Conditionnement des eaux d'alimentation de chaudières

Afin de répondre aux normes industrielles concernant la présence de gaz dissous dans l'eau d'alimentation, l'élimination presque totale de l'oxygène et du gaz carbonique est exigée. Ceci peut être accompli par des traitements internes appliqués à l'eau de chaudière dans le but de parfaire les traitements antérieurs. Ils confèrent à l'eau les caractéristiques optimales, permettant d'éviter la corrosion, l'entartrage et le primage dans toute l'installation et notamment les canalisations de transfert de vapeur et de retour des condensats. Parmi les procédés les plus utilisés [18], on peut citer:

### II.9.1. Traitement d'eau avant le dégazeur

Ce traitement s'effectue par une injection d'une solution d'erpamine ou de morpholine dans l'eau déminéralisée, provenant de la section de déminéralisation dont le but est de:

- ✓ Augmenter le pH.
- ✓ Former une couche protectrice sur la surface du métal de la chaudière [11].

### II.9.2. Dégazage

Pour l'élimination de l'oxygène de l'eau d'appoint, le dégazage peut être réalisé soit par :

- ✓ Voie physique en mettant en oeuvre des dégazeurs sous vide, des dégazeurs thermiques ; voir les strippeurs à l'air ou au gaz, éliminateurs de CO<sub>2</sub> et dégazeurs thermiques, ou des membranes de dégazage voir procédés de perméation.
- ✓ Voie chimique en utilisant des réducteurs d'oxygène (en général en finition) ou des résines catalytiques (voir principaux types d'échangeurs d'ions).

L'élimination du gaz carbonique est toujours réalisée par voie physique (stripping à l'air).

Les dégazeurs thermiques (ou strippeur à la vapeur) sont les plus répandus ; en général, leur température de fonctionnement varie de 105 °C à 140 °C et la capacité des bâches est calculée pour 15 à 60 min de stockage au débit nominal. Les condensats exempts d'oxygène sont envoyés directement dans la bache de stockage tandis que les condensats pollués par O<sub>2</sub> doivent être dégazés avec l'eau [11].

### **II.9.3. Traitement par le phosphate trisodique**

Les phosphates : associés à l'alcalinité de l'eau de chaudière, ils neutralisent la dureté par formation de phosphate tricalcique, composé insoluble que l'on peut disperser puis évacuer par les purges de fond ou par les purges continues. Pour les systèmes où l'eau alimentaire est à moins de 1° TH, les phosphates sont utilisés pour contrôler l'alcalinité ou le pH de l'eau en chaudière et par conséquent, permettre d'éviter la corrosion acide ou alcaline des parois internes de la chaudière. On les associe souvent à des dispersants naturels et/ou de synthèse;

## **II.10. Problèmes causés par de l'eau d'alimentation**

### **II.10.1. Entartrage**

L'entartrage de la chaudière est causé par des impuretés qui précipitent de l'eau directement sur les surfaces de transfert de chaleur ou par le dépôt de matières en suspension sur le métal et deviennent dures et collantes. L'évaporation dans les chaudières augmente la concentration des impuretés. Ceux-ci interfèrent avec le transfert de chaleur et peuvent conduire au développement de points chauds entraînant une surchauffe locale. Le mécanisme de mise à l'échelle est l'augmentation des limites de solubilité des matériaux métalliques en raison de la température élevée et de la concentration de solides à l'interface tube/eau. Les dépôts cristallins déposés sur les parois de la chaudière interfèrent avec le transfert de chaleur et peuvent provoquer des points chauds, entraînant une surchauffe localisée moins de chaleur est produite.

Les contaminants de l'eau nutritifs courants qui peuvent former des dépôts (Figure II.11) dans les chaudières comprennent le calcium, le magnésium, le fer, l'aluminium et la silice. Les zestes sont constitués de sels à solubilité limitée et ne sont pas totalement insolubles dans l'eau. Ces sels atteignent les sites de précipitation sous forme soluble ou précipitée [11].



**Figure II.11:** Phénomène (avant et après) l'entartrage

### II.10.2. Primage

La vaporisation de l'eau s'accompagne de l'entraînement de gouttes d'eau qui contiennent des sels minéraux dissous ou des matières en suspension. Les vésicules d'eau polluent la vapeur et la rendent érodant vis à vis des parois qu'elle peut rencontrer.

Les minéraux et les MES quant à eux, sont susceptibles de se déposer en aval lors d'une surchauffe de la vapeur ou d'être entraînés dans le flux de vapeur la rendant impropre à certaines utilisations (dans le cas du turbinage ces sels sont extrêmement dangereux car ils induisent un balourd du rotor pouvant aller jusqu'à sa rupture). Le primage peut avoir pour origine :

- ✓ Une mauvaise conception de la chaudière
- ✓ Une viscosité de l'eau trop élevée
- ✓ La présence en MES La présence de produit tensioactifs qui abaissent la tension superficielle augmente le moussage [12].

### II.10.3. Corrosion

La corrosion constitue l'un des principaux ennemis de la fiabilité dans les générateurs de vapeur. On estime que les problèmes occasionnés par la corrosion dans les installations de chauffage coûtent des milliards de dollars par année à l'industrie. Un grand nombre des problèmes liés à la corrosion surviennent dans les zones les plus chaudes de la chaudière, soit

le mur d'eau et les tubes de surchauffeur (Figure II.12). Il existe d'autres points sensibles dont les dégazeurs, les réchauffeurs d'eau d'alimentation et les économiseurs. Les méthodes de lutte contre la corrosion varient selon le type de corrosion en cause. Parmi les principales causes de la corrosion il y a la présence de gaz dissous (surtout d'oxygène et de dioxyde de carbone), l'attaque du métal sous les dépôts, l'existence d'un bas pH et l'attaque des zones affaiblies par les contraintes mécaniques, phénomène donnant lieu à une fissuration due à la tension et à la fatigue.

On peut limiter les risques en prenant les mesures suivantes :

- ✓ Maintenir un pH et une alcalinité convenables.
- ✓ Limiter la présence d'oxygène et la contamination de l'eau d'alimentation.
- ✓ Diminuer les contraintes mécaniques.
- ✓ Respecter les exigences nominales, surtout en matière de température et de pression.
- ✓ Prendre les précautions appropriées au moment de la mise en route et de l'artel.
- ✓ Assurer une surveillance et une régulation efficaces [13]



**Figure II.12:** Tube corrodé

## II.11. Conclusion

Avec le développement industriel, les problèmes de pollution de l'eau ont pris un tour d'abord régional puis continental et désormais, maintenant, il est mondial. Une grande quantité d'eau d'alimentation de chaudière est polluée par les usages industriels, Cependant, on effectue l'épuration des eaux d'alimentation de chaudière, qui est une série de processus très importante et qui nous intéresse au cours de ce travail, dans le but d'éviter les problèmes d'entartrage, de primage et de corrosion causés par les eaux d'alimentation.

L'épuration des eaux d'alimentation permet alors d'assurer le bon fonctionnement des chaudières; qui sont très nécessaires dans les différentes unités de production pétrochimiques ou bien chimiques.

# *Chapitre III:*

## *Matériels et Méthodes*

### III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous avons présenté le matériel et les produits utilisés dans notre étude. Les réactifs, les différents paramètres physico-chimiques et les protocoles expérimentaux utilisés pour mesurer ces paramètres ainsi que les montages expérimentaux sont présentés.

### III.2. Equipements et produits chimiques

Le tableau III.1 présente l'ensemble des produits chimiques, verreries, et appareils utilisés pour contrôler la qualité des eaux de chaudières.

**Tableau III.1:** Equipements et produits chimiques utilisés dans les analyses.

| Produits chimiques  | Verreries  | Appareils   |
|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)</li> <li>• Phénolphtaléine</li> <li>• Méthylorange</li> <li>• Ethylène diamine tétra-acétique (EDTA)</li> <li>• Noir Eriochrome T(NET)</li> <li>• Nitrate de mercure (Hg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>)</li> <li>• Bleu de bromophénol</li> <li>• Acide nitrique (HNO<sub>3</sub>)</li> <li>• Acide phosphorique (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)</li> <li>• Molybdate d'ammonium ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>)</li> <li>• Acide chlorhydrique (HCl)</li> <li>• Acide oxalique (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)</li> <li>• Acide 1-amino-2-naphtol-4-sulfonique</li> <li>• Sulfate d'argent (Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)</li> <li>• Sulfate de mercure (HgSO<sub>4</sub>)</li> <li>• Dichromate de potassium (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>)</li> <li>• Solution de féroïenne</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cellule d'échantillon</li> <li>• Ballon de 500 ml</li> <li>• Barreau magnétique</li> <li>• Agitateur</li> <li>• Flacon</li> <li>• Entonnoir</li> <li>• Erlenmeyer</li> <li>• Becher</li> <li>• Chauffe ballon</li> <li>• Burette</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• pH mètre</li> <li>• Conductimètre</li> <li>• Spectrophotomètre DR2800</li> </ul> |

### **III.3. Echantillonnage**

Pour répondre à l'objectif de notre travail, nous avons prendre des différents échantillons de l'eau d'alimentation des chaudières (BFW).

Après chaque test, on procède à nettoyer l'appareillage et son environnement, nettoyer aussi les agitateurs avec de l'eau chaude et du détergent, utiliser une brosse pour enlever tous les résidus. Nettoyer avec beaucoup d'eau du robinet et enfin à l'eau distillée pour enlever tout détergent. Vider et rincez soigneusement les couvercles hermétiques à l'eau. Renverser pour faire sécher dans l'étuve et débrancher l'appareil après chaque analyse.

### **III.4. Protocole d'échantillonnage**

On applique la même procédure d'échantillonnage pour tout l'échantillon prélevé. Le raccordement destiné à l'échantillonnage est conçu de façon que chaque orifice de sortie soit muni d'un dispositif permettant de prélever la quantité voulue de l'eau de chaudière.

Ouvrir le robinet, afin que l'eau de chaudière s'écoule a une vitesse constante, rincer la bouteille avec l'eau de chaudière, remplir les bouteillers par l'échantillon à analyser bien fermer. Les échantillons prélevés à 9h00 de chaque matin, sont transportés au laboratoire de la raffinerie de Skikda pour effectuer les analyses.

### **III.5. Paramètres de mesure physico-chimiques des eaux de chaudières**

#### **III.5.1. Détermination du potentiel hydrogène (pH)**

##### **III.5.1.1. Principe**

Le pH a été déterminé par la méthode potentiométrique de la concentration des ions d'hydrogène dans l'eau. Son principe est basé sur la différence de potentiel entre l'électrode immergée et une référence. Sa valeur a été déterminée un pH mètre (Figure III.1).

##### **III.5.1.2. Mode opératoire**

- Laver soigneusement les électrodes avec l'eau distillée
- Immerger les électrodes dans l'échantillon agité.
- Effectuer la lecture du pH.



Figure III.1: pH mètre [18]

### III.5.2. Détermination de la conductivité électrique

#### III.5.2.1. Principe

La conductivité électrique est l'aptitude de la solution à conduire le courant électrique. Sa détermination donne un contrôle rapide du grade de pureté de l'eau. Sa valeur a été déterminée un conductimètre (Figure III.2).

#### III.5.2.2. Mode opératoire

- Laver soigneusement les électrodes avec l'eau distillée
- Mettre l'appareil sous tension.
- Allumer l'appareil en appuyant sur l'interrupteur se trouvant devant l'équipement.
- Immerger les électrodes dans l'échantillon agité.
- Sélectionner la range avec le bouton approprié.
- Lire la conductivité sur l'échelle.
- Le résultat est exprimé en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ou  $\text{M}\Omega/\text{cm}$ .



Figure III.2: Conductimètre [18]

### III.5.3. Détermination du titre alcalimétrique (TA)

#### III.5.3.1. Principe

Le titre alcalimétrique simple (TA) d'un échantillon est déterminé par un titrage avec un acide fort en présence d'un indicateur coloré de phénolphtaléine (Figure III.3). Le TA s'exprime en degrés français (°f).

#### III.5.3.2. Mode opératoire

Le protocole suivant présente les étapes qui doivent être suivies pour déterminer le titre alcalimétrique simple (TA) des échantillons:

- Prélever 100 ml d'échantillon dans un erlenmeyer de 300 ml
- Ajouter 2 à 3 gouttes de phénolphtaléine en présence de l'alcalinité (TA), on obtient une couleur rose pâle.
- Titrer avec l'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) jusqu'à la disparition de la couleur rose et noter le volume ( $V_a$ ) en ml [18].

**Expression du calcul :** TA en ppm de  $CaCO_3 = V_a \times 10$

### III.5.4. Détermination du titre alcalimétrique complet (TAC)

#### III.5.4.1. Principe

Le titre alcalimétrique complet (TAC) d'un échantillon est déterminé par un titrage avec un acide fort en présence d'un indicateur coloré de méthylorange (Figure III.3). Le TAC s'exprime en degrés français (°f).

#### III.5.4.2. Mode opératoire

- A la même solution précédente, ajouter 2 à 3 gouttes d'indicateur mixte (couleur bleu).
- Continuer à titrer avec l'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) à 0,02 N jusqu'au virage du bleu à la couleur rose pâle et noter le volume ( $V_b$ ) en ml [18].

**Expression du calcul:** TAC en ppm de  $CaCO_3 = V_b \times 10$  Avec :  $V = V_a + V_b$

#### Remarques importantes

**TA:** Correspond à la somme des hydroxydes  $[OH^-]$  + la moitié des carbonates  $\frac{1}{2} [CO_3^{2-}]$ .

**TAC:** Correspond à la somme des hydroxydes  $[OH^-]$  des carbonates et bicarbonates  $[HCO_3^-]$ .

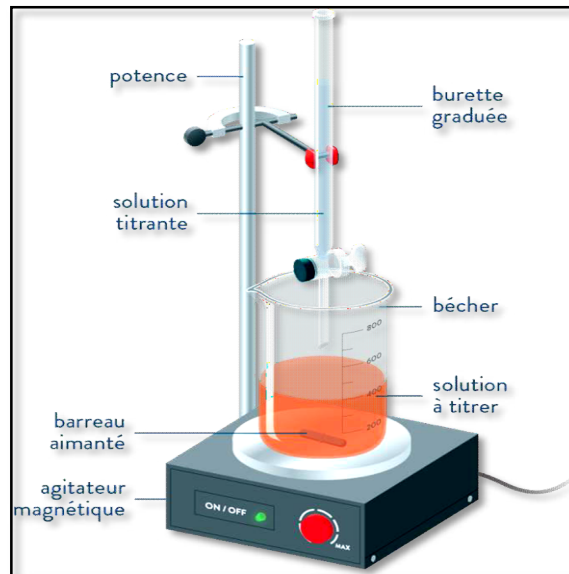


Figure III.3: Montage d'un dosage de TA et TAC

### III.5.5. Détermination de la silice (SiO<sub>2</sub>)

#### III.5.5.1. Principe

A un pH compris entre 2,3 et 2,4, l'acide silicique réagit avec le molybdate d'ammonium pour former un complexe jaune de molybdate silicique et réduit avec le complexe acide aminonaphtol sulfonique (ANS) pour donner une couleur bleu avec formation de la l'azur de molybdène

#### III.5.5.2. Mode opératoire

- Introduire 50 ml d'échantillon dans une éprouvette de 100 ml.
- Ajouter 1 ml d'acide chlorhydrique (HCl) à (1/1).
- Ajouter 2 ml de la solution de molybdate d'ammonium, agiter et attendre 5 minutes.
- Puis ajouter 1,5 ml d'acide oxalique et attendre 1 minute.
- Ajouter 2 ml d'acide aminonaphtol sulfonique (ANS).
- Agiter et laisser reposer 10 minutes.
- Lire l'absorbance au spectrophotomètre, avec une cellule de 10 mm et à une longueur d'onde  $\lambda = 815 \text{ nm}$

**Expression du calcul :**  $[\text{SiO}_2] \text{ en ppm} = A \times F$

Avec : **A** : Absorbance. **F** : Facteur (3,25)

### III.5.6. Détermination des phosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

#### III.5.6.1. Principe

L'acide phosphorique forme avec le molybdate d'ammonium le complexe phosphomolybdique de couleur jaune et réduit avec l'acide chlorhydrique qui donne une couleur bleu par la formation du bleu molybdène.

#### III.5.6.2. Mode opératoire

- Introduire 100ml de l'échantillon à analyser dans un erlenmeyer 100 ml.
- Ajouter 5 ml d'HCl à 15%.
- Ajouter 0,5 ml d'acide oxalique.
- Ajouter 2 ml de molybdate d'ammonium.
- Ajouter 2 ml d'acide amino naphthol sulfonique (ANS).
- Agiter et laisser reposer 5 minutes.
- Lire sur le spectrophotomètre la valeur de l'absorbance à une longueur d'onde égale à 650 nm [18].

**Expression du calcul :**  $[\text{PO}_4^{3-}]$  en ppm = A X F

Avec: **A**: Absorbance. **F** : Facteur égal à 6,81

### III.5.7. Détermination du fer total

#### III.5.7.1. Mode opératoire

- Verser 100 ml d'échantillon dans un erlenmeyer de 300 ml.
- Ajouter 2 ml d'acide chlorhydrique (HCl) [1/1] et 1 ml de chlorhydrate d'hydroxylamine.
- Faire bouillir jusqu'à réduction du volume à 10 ml d'échantillon.
- Compléter avec de l'eau distillée jusqu'au volume de 75 ml.
- Ajouter 1 ml de chlorhydrate d'hydroxylamine.
- Ajouter 5 ml d'ortho-phenantroline.
- Ajouter 5 ml de solution tampon d'acétate d'ammonium.
- Ajouter 2 ml d'hydroxyde d'ammonium.
- Agiter et attendre 5 min.
- Lire au spectrophotomètre à une longueur d'onde  $\lambda = 510$  nm.
- Préparer un essai à blanc avec 100 ml d'eau distillée et suivre le même protocole.

**Expression du calcul [Total fer] en ppm = A x F.** Avec : **A** : Absorbance. **F** : Facteur (5,3).

### **III.6. Conclusion**

Dans le but de traiter et de suivre la qualité des eaux de chaudières au niveau de la raffinerie de Skikda (RA1/K). Nous avons présenté un aperçu sur les équipements, les produits et les protocoles expérimentaux utilisés pour mesurer les différents paramètres physico-chimiques qui caractérisent la qualité des eaux de chaudières.

# *Chapitre IV:*

*Résultats et discussion*

## IV.1. Introduction

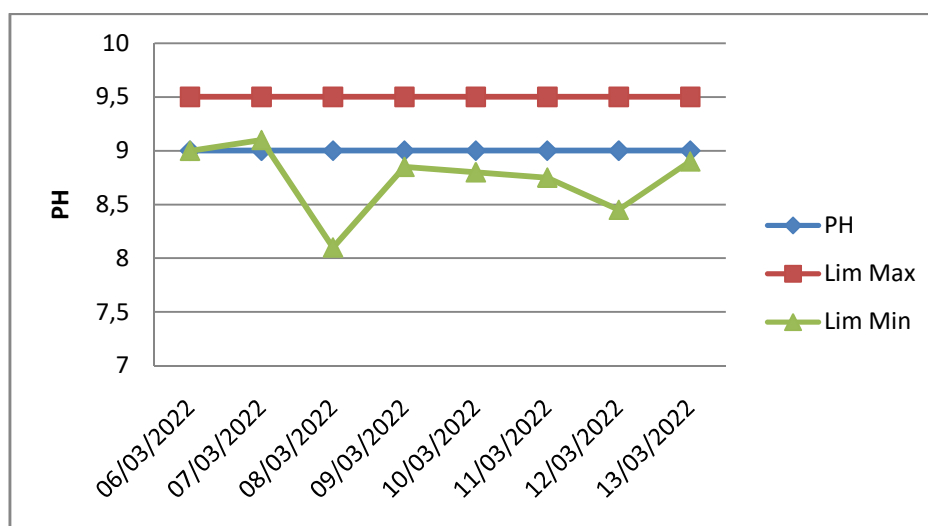
Ce chapitre résume l'ensemble des résultats obtenus sur le contrôle de la qualité des eaux de chaudières par la détermination de différents paramètres de mesure physico-chimiques.

## IV.2. Variation des paramètres de mesure physico-chimiques des eaux de chaudières

Dans le but de déterminer les paramètres de mesure physico-chimiques des eaux de chaudières, nous avons effectué plusieurs analyses, parmi les :

### IV.2.1. Variation du potentiel hydrogène

La valeur de pH caractérise un grand nombre d'équilibre physicochimique. Une étude de la variation du pH d'eau de chaudière en fonction du temps est illustrée dans la figure IV.1.



**Figure IV.1:** Variation du pH d'eau de chaudière en fonction du temps.

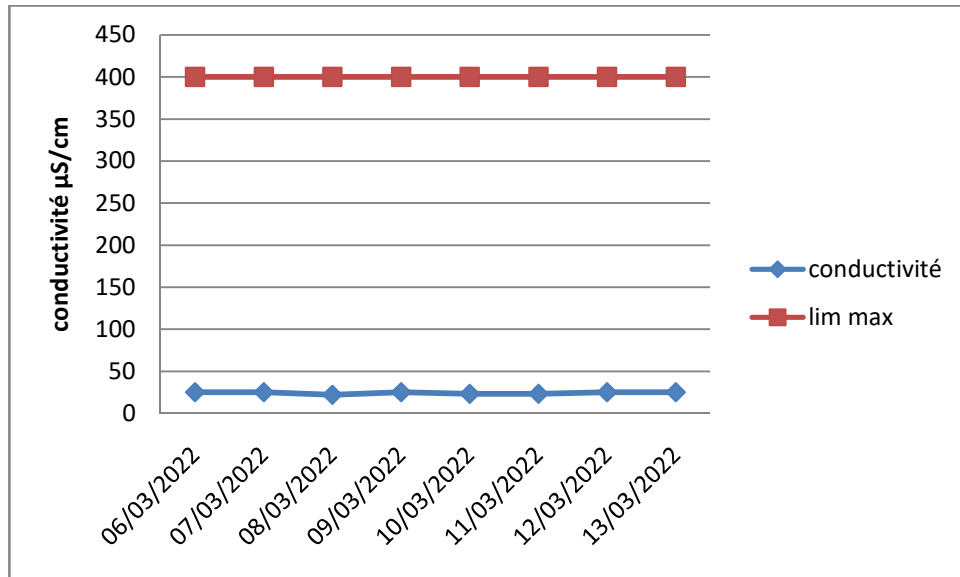
D'après les résultats de la figure IV.1, on obtient que les valeurs du pH ne sont pas dans les normes admises c'est-à-dire toutes les valeurs du pH sont sous la limite min sauf les deux jours de 06/03/20 et 07/03/2020, elles sont dans les normes.

A cause de deux cas :

- Soit par une injection insuffisante de phosphates trisodique qui a pour le but de maintenir le pH de l'eau afin de protéger le circuit vapeur contre la corrosion.
- Soit par la dégradation du produit utilisé à cause de leur mauvais stockage (stockage dans un endroit humide favorisant la dégradation du produit).

### IV.2.2. Variation de la conductivité électrique

La figure IV.2 présente la variation de la conductivité de l'eau d'alimentation de chaudière en fonction du temps.

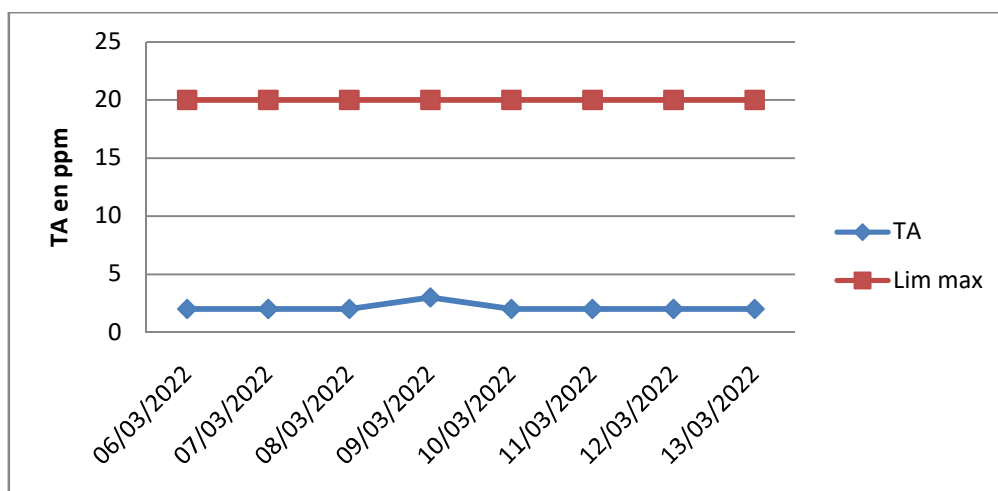


**Figure IV.2:** Variation de la conductivité d'eau de chaudière en fonction du temps.

La conductivité est un paramètre très significatif dans l'évaluation des opérations de traitement des eaux. D'après la figure IV.2, on constate que les valeurs de la conductivité dans l'eau de chaudière sont dans les normes recommandées.

### IV.2.3. Variation du titre alcalimétrique simple (TA) et complet (TAC)

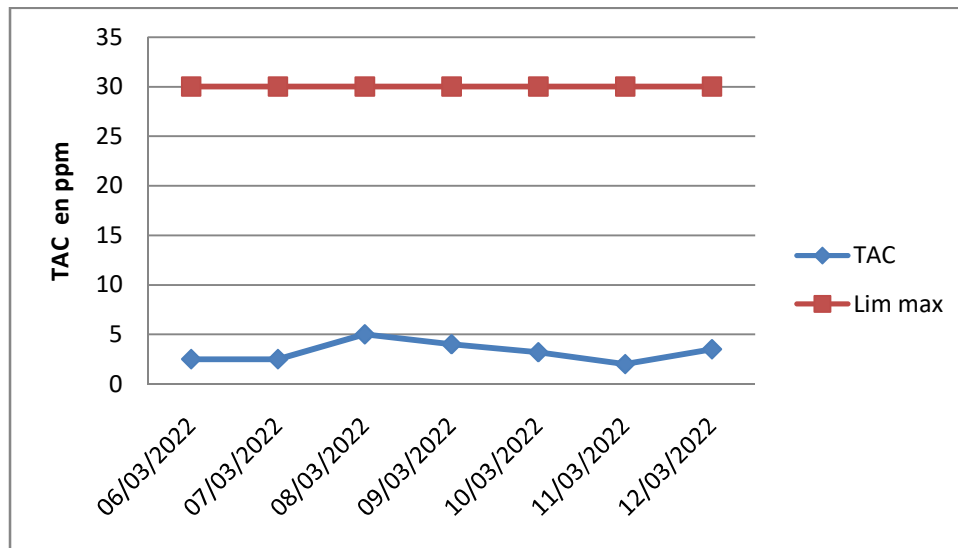
L'évolution du titre alcalimétrique simple (TA) et complet (TAC) d'eau de chaudière en fonction du temps est montrée dans les figures IV.3 et IV.4.



**Figure IV.3:** Evolution du TA de l'eau de chaudière en fonction du temps.

Les résultats de la figure IV.3 montre que les valeurs de TA sont dans les normes recommandées.

L'évolution du TAC d'eau de chaudière en fonction du temps est montrée dans la figure IV.4

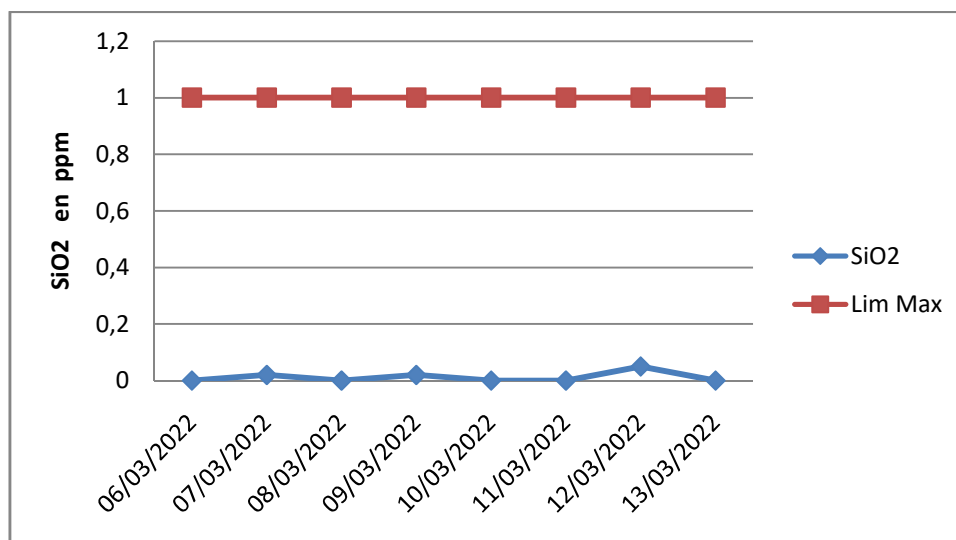


**Figure IV.4:** Evolution du TAC d'eau de chaudière en fonction du temps.

D'après la figure IV.4, on observe que les valeurs du TAC de l'eau de chaudière sont dans la limite admise.

#### IV.2.4. Variation de la silice ( $\text{SiO}_2$ )

La figure IV.5 représente l'évolution de la silice ( $\text{SiO}_2$ ) dans l'eau de chaudière en fonction du temps.

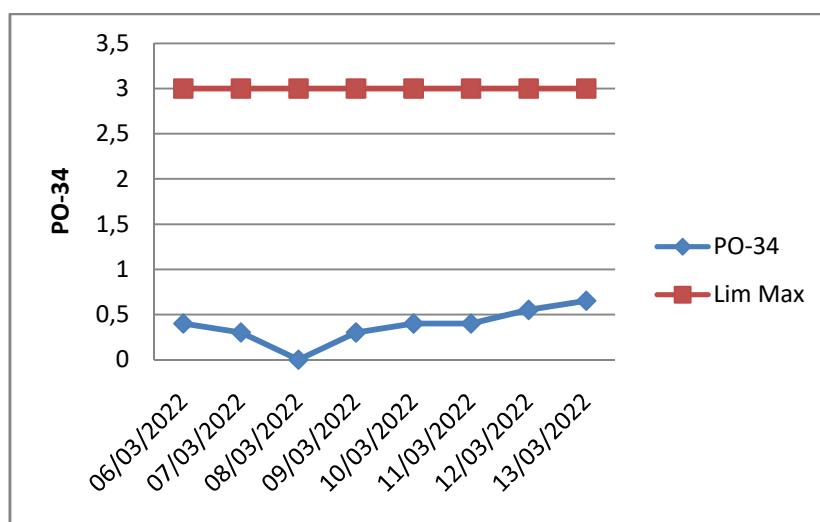


**Figure IV.5:** Evolution de la silice ( $\text{SiO}_2$ ) dans l'eau de chaudière en fonction du temps

Les résultats obtenus montrent que les valeurs de la silice sont dans les valeurs normalisées dans tous les jours de contrôles.

#### IV.2.5. Variation des phosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

Dans notre analyse, la variation des phosphates dans les eaux de chaudières en fonction du temps est illustrée dans la figure IV.6.

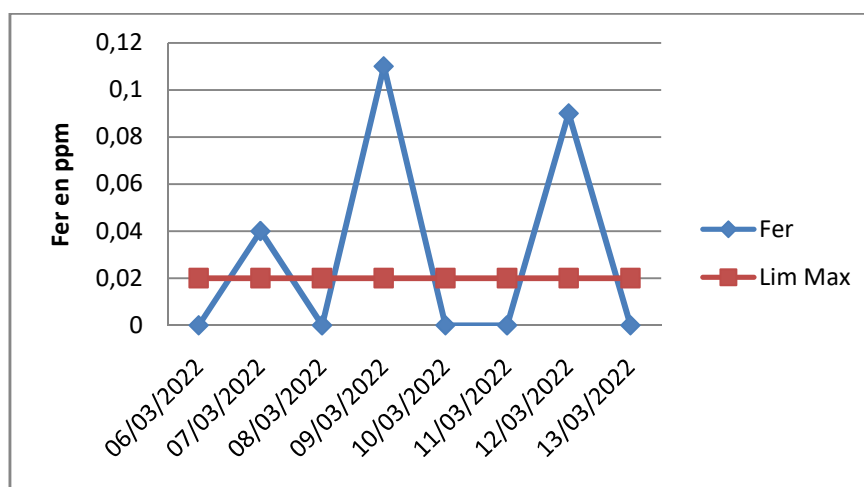


**Figure IV.6 :** Evolution du phosphate dans l'eau de chaudière en fonction du temps.

On remarque que les valeurs du phosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) dans l'eau de chaudière sont dans les normes admises, on peut conclure que la quantité du phosphate injecté est convenable.

#### IV.2.6. Variation de la teneur en fer

L'évolution de la teneur en fer (Fe) dans l'eau de chaudière en fonction du temps est présentée dans la figure IV.7.



**Figure IV.7:** Evolution de la teneur en fer d'eau de chaudière en fonction du temps.

On remarque que la concentration du fer dans l'eau d'alimentation des chaudières dépasse largement la limite de tolérance maximale, ce qui peut provoquer une corrosion au niveau de la chaudière. Les valeurs hors normes de la concentration du fer dans l'eau d'alimentation des chaudières sont dues à l'absence d'une protection contre la corrosion (morpholine) qui provoque un autre problème dans la chaudière.

### **IV.3. Conclusion**

D'après les résultats obtenus, on peut conclure que la plupart des paramètres physico-chimiques de l'eau d'alimentation de chaudières sont dans les normes, sauf quelques paramètres comme le pH et le Fer qui n'ont pas dans les normes recommandées. Ces paramètres peuvent provoquer plusieurs problèmes, à savoir : la corrosion et l'entartrage dans la chaudière du complexe de la raffinerie de Skikda.

En effet, le diagnostic primaire de l'eau d'alimentation des eaux d'alimentation de chaudières nous a amené à localiser les problèmes de la station pour mieux choisir les quantités des produits injecter, afin d'assurer son fonctionnement avec le moindre coût.

*Conclusion générale*

Ce travail a été effectué dans la Raffinerie de Skikda (RA1/K), plus exactement au sein de l'unité 1050 et au laboratoire pour caractériser la qualité des eaux de chaudières.

Dans cette étude, nous avons effectué une série des analyses physico-chimiques, à savoir : pH, conductivité, alcalinité, dureté, le phosphate, fer total et la silice sur les échantillons de l'eau d'alimentation de chaudières.

Après avoir comparés les résultats obtenus avec les normes recommandés. Nous pouvons conclure que: Les valeurs du pH, TA, TAC, et les phosphate sont conformes aux normes recommandées, sauf le pH dans l'eau de chaudière n'est pas dans les normes, les valeurs de fer ne sont pas conformes aussi aux normes recommandées. Alors, les valeurs de la silice et la conductivité sont conformes aux normes.

D'après le contrôle de la qualité de l'eau d'alimentation de chaudière par des analyses physico-chimiques mentionnées précédemment, la plupart de ces paramètres sont dans les normes, sauf quelques paramètres se trouvent hors les normes recommandées. Ces paramètres peuvent provoquer plusieurs problèmes, à savoir : la corrosion et l'entartrage dans la chaudière de la raffinerie. Il est important de réparer les différents appareils automatisés de l'injection des produits chimiques et les paramètres responsables de la déminéralisation (résines échangeuse cationique et anionique) des eaux d'alimentation de chaudières dont le but d'éviter toutes les défaillances rencontrées actuellement.

Pour avoir un bon fonctionnement, continuation et une longue durée de vie de la chaudière, il faut: contrôler l'état du stock des produits dans le but d'éviter la dégradation de leur qualité. Contrôler la quantité des résines pour assurer une bonne déminéralisation et contrôler aussi la quantité des produits utilisés pour la régénération des résines.

## *Références Bibliographiques*

- [1] Institut Algérien de Pétrole (IAP) de Skikda, Description du complexe (SONATRACH), 2005.
- [2] O.M. Beyrouk, Extraction des aromatiques: Calcul de vérification de la colonne de Benzène de l'unité 200/RAK1/K, Mémoire d'ingénieur d'état, Université Mohamed Bogara de Boumerdes, 2007.
- [3] Institut Algérien du Pétrole, Skikda, 2014.
- [4] H. Abdallah, H. Mohammed, Vérification de faisabilité d'augmentation de la capacité de traitement de topping de la RI1/G, Mémoire de Master, Université El-Oued, 2013.
- [5] S. Amieur, Etude de l'unité d'extraction des aromatiques et calcul de vitrification de section de fractionnement de la raffinerie de Skikda, 1<sup>ère</sup> JNTSD, 2007.
- [6] Manuel opératoire de l'unité de séparation et traitement des gaz, Skikda.
- [7] M. Touiker, Généralités sur le raffinage, Ecole des techniques pétrolières de Skikda, IAPCU Skikda, 2006.
- [8] F. Mekhalif, Réutilisation des eaux résiduaires industrielles épurées comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement, Mémoire de Magister, Université du 20 Août 1955 Skikda, 2009.
- [9] M. Azzoug, Abdel Hakim, Modélisation d'une chaudière à l'aide d'un outil graphique. Mémoire de Master, Université Farhat Abbas Setif, 2014.
- [10] <https://uae.fr/le-traitement-de-leau-de-a-a-z/techniques-de-traitement/sterilisation-uv/>
- [11] C. Belgot, A. Ouali Abdelkader, Etudes des inconvénients provoqués par les impuretés de l'eau d'alimentation d'une chaudière type IHI au niveau du complexe GL2/Z. Université Mohamed Boudiaf Oran, 2019
- [12] Christophe Alleau. Chaudières à vapeur à combustible.
- [13] J. M. Berland, C. Boutin, P. Molle, and P. Cooper, Procédés extensifs d'épuration des eaux usées, Office des publications des communautés européennes, Luxembourg, 2001.
- [14] Christophe Alleau. Chaudières à vapeur à combustible.
- [15] S. Khaled, Suivi la nouvelle unité de traitement des effluents ETP II de la raffinerie de Skikda, Mémoire de Master, Université de Skikda, 2014
- [16] C. Baar, V. Letebvre, Traitement des eaux usées (1). Université libre de Bruxelles, 2005.
- [17] Z. M. Hadj-Sadok, Modélisation et estimation dans les bioréacteurs; prise en compte des incertitudes : application au traitement de l'eau, Thèse de Doctorat, Université de Nice Sophia Antipolis, France, 1999.
- [18] Manuel opératoire du laboratoire de la raffinerie de Skikda (RA1/K).

## Résumé

Ce travail consiste à contrôler la qualité des eaux d'alimentation de chaudières au niveau de la raffinerie de Skikda (RA1/K), exactement au sein de l'unité 1050 (CTE). Après les traitements physico-chimiques et la déminéralisation par les résines échangeuse d'ion; l'eau doit subir au préalable à un traitement chimique approprié par l'addition de certains réactifs, destinés à lui donner des propriétés adaptés pour une utilisation moins dangereuse. Les résultats obtenus montrent que la plupart des paramètres sont dans les normes sauf quelques paramètres qui se trouvent hors les normes recommandées. Ces paramètres peuvent provoquer plusieurs problèmes, à savoir : la corrosion et l'entartrage dans la chaudière du complexe de la raffinerie de Skikda.

**Mots clés:** Chaudière, Déminéralisation, Corrosion, Entartrage.

## Abstract

This work consists in controlling the quality of boiler feed water at the Skikda refinery (RA1/K), exactly within the unit 1050 (CTE). After the physico-chemical treatments and the demineralization by ion exchange resins, the water must undergo beforehand an appropriate chemical treatment by the addition of certain reagents, intended to give him properties adapted for a less dangerous use. The results obtained show that most of the parameters are within the norms, except for a few parameters that are outside the recommended norms. These parameters can cause several problems, namely: corrosion and scaling in the boiler at the Skikda refinery complex.

**Key words:** Boiler, Demineralization, Corrosion, Scaling.

## ملخص

يتكون هذا العمل من ضبط جودة مياه تغذية الغلايات في مصفاة سكيكدة (RA1 / K) ، بالضبط ضمن الوحدة 1050 (CTE). بعد المعالجات الفيزيائية والكيميائية وإزالة المعادن بواسطة راتنجات التبادل الأيوني، يجب أن يخضع الماء أولاً لمعالجة كيميائية مناسبة عن طريق إضافة كواشف معينة، بهدف إعطائه خصائص مناسبة للاستخدام الأقل خطورة. تظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن معظم المعلمات تقع ضمن المعايير باستثناء عدد قليل من المعلمات التي تقع خارج المعايير الموصى بها. يمكن أن تسبب هذه المعلمات عدة مشاكل، وهي: التآكل والتفتش في المرجل على مستوى مجمع مصفاة سكيكدة.

**الكلمات المفتاحية:** سخان مياه، تمعدن، التآكل، تحجيم.