

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE 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

*Contrôle de la qualité des eaux résiduaires industrielles
avant et après l'épuration pour la réutilisation dans le
circuit de refroidissement au niveau de la raffinerie de
Skikda (RA1/K)*

Réalisé par:

Hadjaj Yacine

Ghedir Amine

Directeur de Mémoire: Dr. KIHAL Rafiaa

Devant le jury:

Président:	Dr. Nacira MECHERI	Université Abbes Laghrour khenchela
Rapporteur:	Dr. Rafiaa KIHAL	Université Abbes Laghrour khenchela
Examineur:	Dr. Abdesselam MAKHLOUFI	Université Abbes Laghrour khenchela

Année universitaire: 2020–2021

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

L'industrie pétrolière et l'activité de raffinage sont désignées comme des principaux responsables de plusieurs formes de pollution, qui ont la particularité d'être plus nocif. Les principaux objectifs de ce mémoire sont: suivi de la qualité des eaux résiduaires avant et après l'épuration, localiser les problèmes de la station d'épuration rencontrés et la réalisation des analyses pour résoudre les problèmes rencontrés; donc, améliorer la qualité des eaux traitées pour la réutilisation dans le circuit de refroidissement. L'analyse des échantillons prélevés avant et après l'épuration est basée sur la détermination de plusieurs paramètres de mesure physico-chimiques. Cette analyse nous a permis de constater que la station d'épuration est en disfonctionnement. En effet, le diagnostic primaire de l'eau résiduaire nous a amené à localiser les problèmes de la station d'épuration pour mieux choisir les quantités des produits à injecter lors du procédé de coagulation, afin d'assurer une bonne clarification avec le moindre coût.

Mots clés : Eau résiduaire, épuration, analyses, coagulation

The petroleum industry and refining activity are indentified as the main culprits for several forms of pollution, which have the particularity of being more harmful. The main objectives of this study are: monitoring the quality of wastewater before and after treatment, locating the problems of the treatment plant encountered and carrying out analyzes to resolve the problems encountered, therefore improve the quality of treated water for reuse in the cooling circuit. The analysis of samples taken before and after purification is based on the determination of several physicochemical measurement parameters. These analysis allowed us to observer that the wastewater treatment plant is in malfunction .indeed the primary diagnosis of the waste led us to locate the problems of the treatment plant to better choose the quantities of products to be injected the coagulation process, in order to ensure good clarification at the lowest cost.

Keywords: waste water, purification, analysis, coagulation.

تم تحديد الصناعات البترولية و نشاط التكرير على أنهما السببان الرئيسيان للعديد من أشكال التلوث والتي لها خصوصية كونها أكثر ضررًا. الأهداف الرئيسية لهذه المذكرة هي مراقبة جودة مياه الصرف قبل وبعد المعالجة و تحديد المشاكل التي تواجه محطة المعالجة، إجراء التحاليل لحل المشاكل التي تواجهها، تحسين جودة المياه المعالجة لإعادة استخدامها في دائرة التبريد. يعتمد تحليل العينات المأخوذة قبل وبعد التنقية على تحديد العديد من المعايير القياس الفيزيائية و الكيميائية.سمح لنا هذا التحليل بملاحظة أن محطة التنقية معطلة في الواقع، قادنا التشخيص الأولي لمياه الصرف إلى تحديد مشاكل محطة التنقية لاختيار أفضل الكميات من المنتجات التي سيتم حقنها أثناء عملية التخثر من أجل ضمان معالجة جيدة بأقل تكلفة.

الكلمات المفتاحية : مياه الصرف ، التنقية ، التحاليل ، التخثر.

Dédicace

Je dédie ce travail qui n'aura jamais pu voir le jour sans les soutiens indéfectibles et sans limite de mes chers parents qui ne cessent de me donner avec amour le nécessaire pour que je puisse arriver à ce que je suis aujourd'hui.

" وإن طال الدعاء اللهم أمني و أبي "

Que dieux vous protège et que la réussite soit toujours à ma portée pour que je puisse vous combler de bonheur.

Je dédie aussi ce travail à :

✚ Mon Professeur « Faical Ben Houria ».

✚ Ma belle sœur « Fatma » et mes frères « Merouane & Okba ».

✚ Mon oncle « Ghedir Saadi ».

✚ Mes grandes mères « Djamila, Mebarka et Fatoume. ».

✚ Mes meilleures amies « Mabrouk & Athmane & Abd el aali & Djihade & Mouni & Sana & Fatima »

✚ Tous mes amis sans exception.

Amine

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A mon très chère Père et ma très chère Mère

A ceux qui m'ont toujours encouragé pour que je réussisse

Dans mes études

A ceux qui ont veillé pour mon bien être

A ceux qui m'on soutenu dans les moments les plus difficiles de ma vie

A ceux que j'aime et je respecte infiniment

Le jour est venu pour leur dire Merci

A ma sœur « Dhikra » et mon frère « Adem »

A toutes ma famille petite et grande

A tous mes amis. Je tiens particulièrement à

« Hako Nemilli » et « Fatima Hassad »

Je vous dire Merci

Yacine

Remerciements

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 niveau la raffinerie de Skikda (RAI/K), plus exactement au sein du laboratoire central.

Nous tenons particulièrement à exprimer notre gratitude à notre directrice de mémoire, Mademoiselle " Rafiaa Kihal" Maitre de conférences classe « B » à l'Université Abbes Laghrour Khenchela, pour avoir proposé et dirigé ce travail. Son soutien, sa disponibilité et ses précieux conseils, tout au long de cette mémoire, nous ont permis d'acquérir une grande confiance et de mener à terme ce travail.

Nous remercions également tous les membres de la raffinerie de Skikda (RAI/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 2021 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 a tous

Table des matières

Titre	Page
<i>Liste des tableaux</i>	<i>i</i>
<i>Liste des figures</i>	<i>ii</i>
<i>Liste des abréviations</i>	<i>iv</i>
<i>Introduction Générale</i>	02
<i>Chapitre I: Présentation du complexe de la raffinerie de Skikda (RA1/K)</i>	
I.1. Introduction	05
I.2. Historique sur l'organisation de l'activité du raffinage	05
I.3. Différentes raffineries en Algérie	06
I.3.1. Raffinerie d'Alger (RA1/G)	06
I.3.2. Raffinerie d'Arzew (RA1/Z)	07
I.3.3. Raffinerie de Hassi Messaoud	07
I.3.4. Raffinerie de Skikda (RA1/K)	07
I.3.5. Raffinerie de In Amenas	08
I.4. Description de la raffinerie de Skikda (RA1/K)	08
I.4.1. Situation géographique de la raffinerie de Skikda	08
I.4.2. Construction de la raffinerie de Skikda	09
I.4.3. Structure hiérarchique de la raffinerie de Skikda	10
I.4.4. Différentes unités de production de la raffinerie de Skikda	11
I.4.5. Description des différentes unités de production	12
I.5. Conclusion	16
<i>Chapitre II: Procédés d'épuration des eaux résiduaires industrielles</i>	
II.1. Introduction	18
II.2. Description de la zone d'étude (unité ETP II)	18
II.3. Eaux résiduaires industrielles (ERI)	18
II.4. Origine et type de pollutions industrielles	19
II.5. Influence de la pollution des ERI sur l'environnement	21
II.6. Epuration des eaux résiduaires industrielles	21
II.6.1. Prétraitements	22

II.6.1.1. Dégrillage	22
II.6.1.2. Dessablage	22
II.6.1.3. Pré-déshuilage	23
II.6.2. Traitement physico-chimique	23
II.6.2.1. Coagulation-Floculation	24
II.6.2.2. Décantation physique	24
II.6.2.3. Flottation	25
II.6.3. Traitement biologique	25
II.6.3.1. Traitement aérobie	26
II.6.3.2. Traitement anaérobie	26
II.6.4. Traitement tertiaire	26
II.6.4.1. Désinfection	26
II.6.4.2. Traitement de finition	26
II.6.4.3. Traitement sur charbon actif	27
II.6.5. Epaissement des boues	27
II.6.6. Déshydratation	27
II.7. Paramètres de mesure de la pollution des eaux résiduaires industrielles	27
II.7.1. Paramètres organoleptiques	27
II.7.2. Paramètres physico-chimiques	27
II.8. Réutilisation des eaux résiduaires épurées dans le circuit de refroidissement	27
II.9. Conclusion	28
<i>Chapitre III: Mise en œuvre expérimental</i>	
III.1. Introduction	30
III.2. Equipements et produits	30
III.3. Identification des échantillons et protocole d'échantillonnage	31
III.4. Détermination des paramètres de mesure physico-chimiques des eaux résiduaires	31
III.4.1. Détermination du potentiel hydrogène (pH)	31
III.4.2. Détermination de la conductivité électrique	32
III.4.3. Détermination de la température	33
III.4.4. Détermination du titre alcalimétrique (TA)	33
III.4.5. Détermination du titre alcalimétrique complet (TAC)	34

III.4.6. Détermination du titre hydrométrique (TH)	35
III.4.7. Détermination du chlorure libre (Cl ⁻)	35
III.4.8. Détermination des phosphates (PO ₄ ³⁻)	36
III.4.9. Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO)	36
III.5. Conclusion	37
<i>Chapitre IV: Résultats et discussion</i>	
IV.1. Introduction	39
IV.2. Variation des paramètres de mesure physico-chimiques des eaux résiduaires	39
IV.2.1. Variation du potentiel hydrogène	39
IV.2.2. Variation de la conductivité électrique	40
IV.2.3. Variation de la température	41
IV.2.4. Variation du titre alcalimétrique simple (TA) et complet (TAC)	42
IV.2.5. Variation du titre hydrométrique (TH)	43
IV.2.6. Variation du chlorure libre (Cl ⁻)	43
IV.2.7. Variation des phosphates (PO ₄ ³⁻)	45
IV.2.8. Variation de la demande chimique en oxygène (DCO)	46
IV.3. Conclusion	46
<i>Conclusion générale</i>	49
<i>Références bibliographiques</i>	51

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
Tableau I.1	Capacité de traitement des raffineries	06
Tableau I.2	Développement des unités de production	10
Tableau III.1	Equipements et produits chimiques utilisés dans les analyses	30

Liste des figures

Figure	Titre	Page
Figure I.1	Différentes raffineries en Algérie	08
Figure I.2	Situation géographique de la raffinerie de Skikda (RA1/K)	09
Figure I.3	Organigramme de la structure hiérarchique de la raffinerie de Skikda (RA1/K)	11
Figure II.1	Plan d'implantation de la zone ETP II	18
Figure II.2	Eaux résiduaires industrielles	19
Figure II.3	Bassin de Flocculation	24
Figure II.4	Bassin de décantation	24
Figure II.5	Bassin de flottation	25
Figure III.1	pH mètre	31
Figure III.2	Conductimètre	32
Figure III.3	Thermomètre	33
Figure III.4	Montage d'un dosage de TA et TAC	34
Figure IV.1	Variation du pH des eaux résiduaires avant et après le traitement en fonction du temps.	39
Figure IV.2	Variation de la conductivité des eaux résiduaires avant et après le traitement en fonction du temps.	40
Figure IV.3	La variation de la température des eaux résiduaires avant et après le traitement en fonction du temps	41
Figure IV.4	La variation de TA des eaux résiduaires avant et après le traitement en fonction du temps.	42
Figure IV.5	La variation de TAC des eaux résiduaires avant et après le traitement en fonction du temps	42
Figure IV.6	La variation de TH des eaux résiduaires avant et après le traitement en fonction du temps	43
Figure IV.6	La variation du chlorure libre (Cl^-) des eaux résiduaires avant et après le traitement en fonction du temps	44
Figure IV.7	Evolution du phosphate (PO_4^{3-}) des eaux résiduaires avant et	45

	après le traitement en fonction du temps.	
Figure IV.8	Variation de la demande chimique en oxygène (DCO) des eaux résiduaires avant et après le traitement en fonction du temps.	46

Liste des Abréviations

ERDP: Entreprise nationale de raffinage et de distribution des produits pétroliers

CTE: Centrale thermoélectrique et utilités

PSA: Procédé d'adsorption d'écart de pression

ETP II: Unité de traitement des effluents II

ERI: Eaux résiduaires industrielles

MES: Matières en suspension

DCO: Demande chimique en oxygène

DBO: Demande biologique en oxygène

PH: Potentiel hydrogène

TA: Titre alcalimétrique

TAC: Titre alcalimétrique complet

TH: Titre hydrométrique

EDTA: Ethylène diamine tétra-acétique

NET: Noir Eriochrome T

Introduction générale

L'industrie pétrolière en général et l'activité de raffinage en particulier sont désignées comme des principaux responsables de plusieurs formes de pollution qui ont la particularité d'être plus nocif. Les effluents issus des raffineries de pétrole peuvent être contaminés par le pétrole brut, les apports d'eau, les eaux pluviales, les eaux provenant des navires-citernes, les eaux des égouts, les produits chimiques et les catalyseurs, etc.

Un approvisionnement adéquat en eau de bonne qualité est essentiel au développement continu de n'importe quelle société. Les données les plus récentes sur l'utilisation brute de l'eau indiquent que le prélèvement total d'eau croît de façon régulière. Les incertitudes que soulève l'avenir des ressources en eau accentuent ce défi en raison de changements climatiques extrêmes, d'une concurrence accrue pour l'accès à des ressources limitées en eau à l'échelle mondiale et d'une demande croissante pour ce qui est d'un meilleur contrôle de la pollution des eaux résiduaires à l'appui d'une meilleure utilisation des eaux réceptrices.

L'une des solutions réside dans la réutilisation de l'eau, pour faciliter l'utilisation des effluents municipaux traités comme une nouvelle source d'approvisionnement tout en réduisant l'évacuation d'effluents pollués dans les eaux réceptrices. Dans certains cas, la réutilisation de l'eau peut présenter des avantages économiques découlant en partie des économies réalisables sur l'expansion des infrastructures d'approvisionnement en eau et de traitement des eaux résiduaires.

A l'heure actuelle, il existe une vaste gamme de technologies de traitement pouvant servir à la récupération et à la réutilisation des eaux résiduaires pour le lavage, le nettoyage et l'alimentation des circuits de refroidissement. Un grand nombre de ces technologies, ont été mises au point et appliquées. Ils sont implantés avec les stations d'épurations afin d'avoir une qualité d'eau épurée bien déterminé vu l'usage souhaité.

Les objectifs principal de ce mémoire sont: le suivi de la qualité des eaux résiduaires avant et après l'épuration, localiser les problèmes de la station d'épuration rencontrés et la réalisation des analyses à l'échelle du laboratoire pour résoudre les problèmes rencontrés; donc, améliorer la qualité des eaux traitées pour la réutilisation dans le circuit de refroidissement.

Ce manuscrit se compose de quatre chapitres dans lesquels sont présentés successivement:

Le premier chapitre est constitué d'une présentation du complexe de la raffinerie de Skikda (RA1/K).

Le deuxième chapitre est une étude bibliographique approfondie sur les eaux résiduaires industrielles, ses influences sur l'environnement ainsi que ses procédés d'épuration.

Le troisième chapitre décrit la présentation des dispositifs expérimentaux utilisés dans notre étude.

Le quatrième chapitre regroupe l'ensemble des résultats relatifs à la détermination de différents paramètres physico-chimiques des eaux résiduaires avant et après l'épuration.

Les quatre chapitres sont à la fin clôturés par une conclusion générale.

Chapitre I:
Présentation 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 créée 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 créée 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 saproduction destinée à l'exportation.

I.3.5. Raffinerie de In Amenas

La raffinerie de In 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).

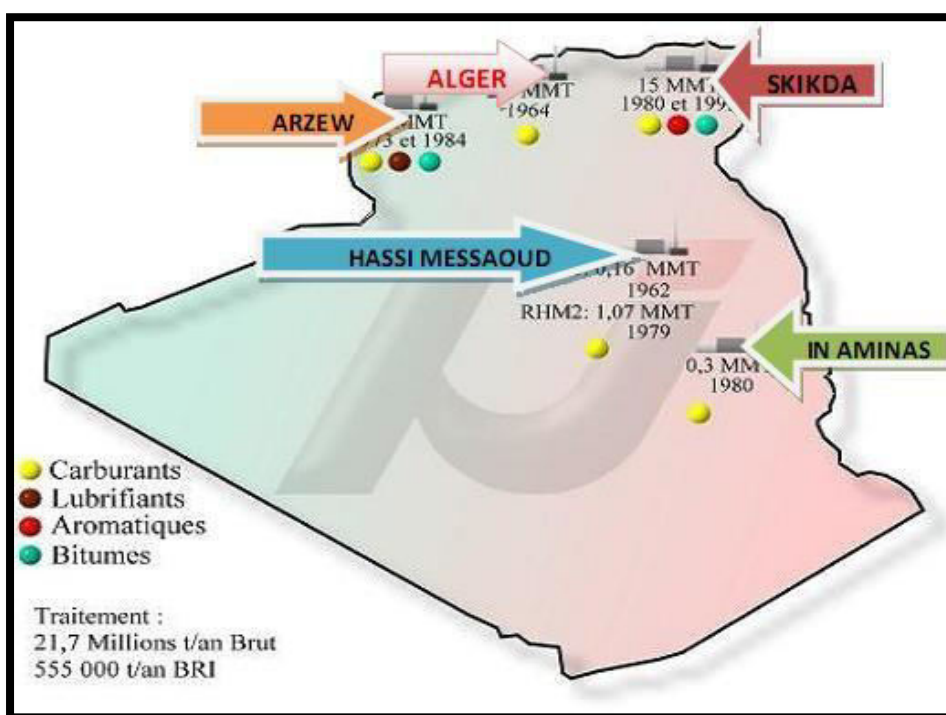


Figure I.1: Différentes raffineries en Algérie [4].

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].

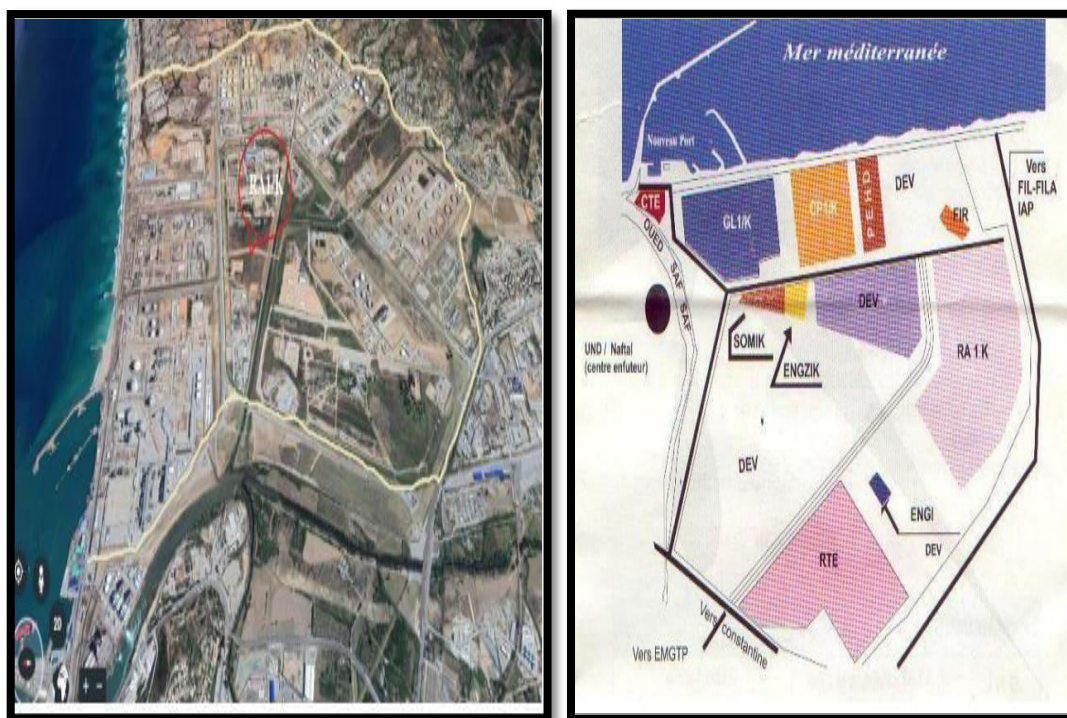


Figure I.2: Situation géographique de la raffinerie de Skikda (RA1/K) [2, 6].

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 staff comme le montre dans l'organigramme suivant (Figure I.3).

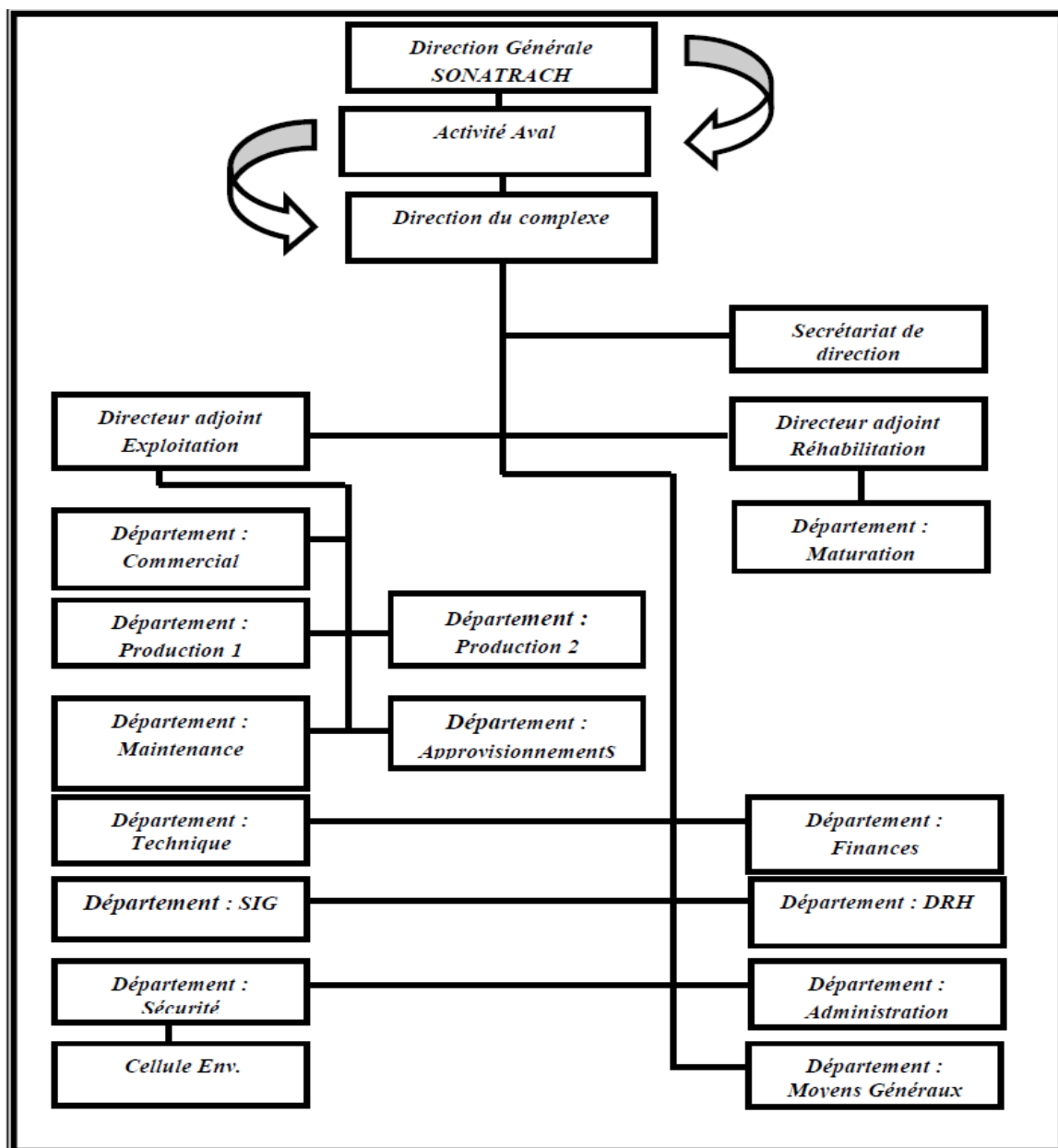


Figure I.3: Organigramme de la structure hiérarchique de la raffinerie de Skikda (RA1/K) [7].

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); (avantréhabilitation).
- 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 éthylebenzène. 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 divisé 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, H₂S et l'humidité à travers une colonne contenant des tamis moléculaires qui possèdent la propriété de retenir l'humidité et l'acide H₂S 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 (C₁, C₂, H₂) qu'on envoie à partir de la tête vers le réseau fuel gaz, le produit du fond (butane, propane) alimente la 2^{ème} colonne où le propane est séparé du butane par simple distillation.

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 lamarche 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 (N₂).
- 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 H₂ 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 /cm² G). L'hydrogène de haute pureté est produit par le procédé d'adsorption d'écart de pression (PSA).

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 résiduaires industrielles

II.1. Introduction

La plupart des activités humaines qui utilisent de l'eau produisent des eaux résiduaires industrielles. Étant donné que la demande d'eau dans son ensemble augmente, la quantité d'eaux usées produites, et leur charge polluante globale, sont en augmentation constante dans le monde entier. Dans ce cadre, les rejets de tels effluents dans l'environnement sont indésirable et sont à l'origine de nombreuses contaminations des eaux de surface et souterraine. Cependant, les recherches actuelles visent donc, à limiter et à réduire cette contamination d'origine industrielle par les différents procédés d'épuration.

II.2. Description de la zone d'étude (unité ETP II)

Suite à l'agrandissement de la raffinerie de Skikda et les dysfonctionnements de l'unité ETPI qui l'on rendu incapable de traiter les effluents liquides. L'unité ETP II est une nouvelle station d'épuration (Figure II.1) qui a été conçue et réalisé pour la remplacer et bien accomplir sa tâche [10]. L'unité ETPII a pour objectif de traiter les effluents de la raffinerie (réhabilitation et adaptation) de façon a ce que les rejets dans le milieu respectent la réglementation tant en terme de qualité que de quantité [8].

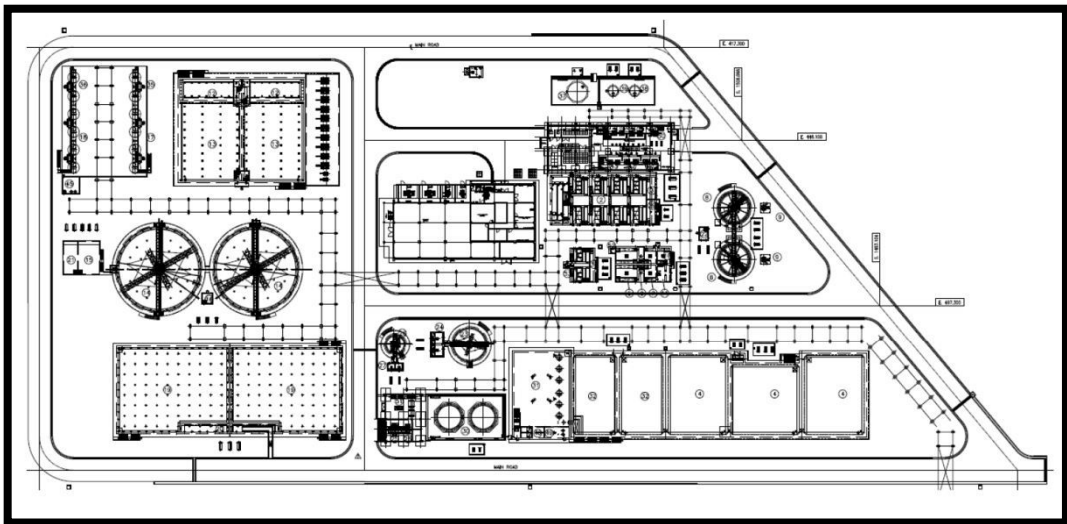


Figure II.1: Plan d'implantation de la zone ETP II

II.3. Eaux résiduaires industrielles (ERI)

Eaux résiduaires industrielles (ERI) sont considérées comme tous effluents ou rejets industriels (Figure I.2) obtenus lors de l'extraction et de la transformation des matières premières en produits industriels [8].

On peut considérer alors que les ERI sont des mélanges hétérogènes comprenant: Des matières a caractère minéral ou organique sous forme de composés insoluble: particules solides en suspension a l'état grossier, finement dispersé ou colloïdal et substances liquides a l'état dispersé ou émulsions (graisses, huiles, goudrons, hydrocarbures,... etc.) et, en proportion plus ou moins grande, des composées en dissolution dans l'eau (pollution soluble) [9-10].

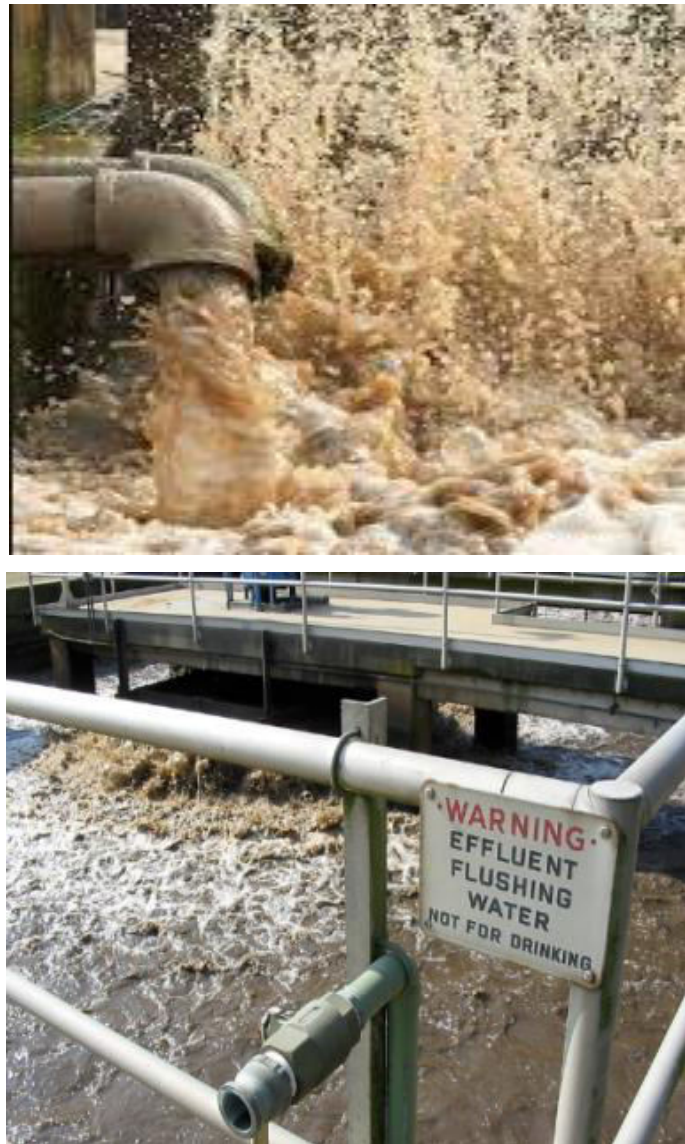


Figure II.2: Eaux résiduaires industrielles [11]

II.4. Origine et type de pollutions industrielles

Les eaux résiduaires industrielles sont spécifiques par leur volume et leur composition. On distingue trois types de pollution en fonction de sa nature, sa nocivité et de ses effets:

II.4.1. Pollution physique

C'est une pollution due aux agents physiques, elle est d'origine domestique, essentiellement industrielle. On peut la répartir en trois classes: mécanique, thermique et radioactive [6-8].

II.4.1.1. Pollution mécanique

Elle résulte des décharges de déchets et de particules solides apportés par les ERI, ainsi que les eaux de ruissellement. Ces polluants sont soit les éléments grossiers soit du sable ou bien les matières en suspension (MES) [6-8].

II.4.1.2. Pollution thermique

Les eaux rejetées par les usines utilisant un circuit de refroidissement de certaines installations (centrales thermiques, nucléaires, raffineries et aciéries); ont une température de l'ordre de (70 à 80) °C et elle diminue jusqu' à 40 °C. Lorsque les eaux des milieux aquatiques entraînant un réchauffement de l'eau, influe sur la solubilité de l'oxygène. En outre, tout changement de température cause des effets significatifs sur la survie des organismes aquatiques. Un abaissement important de température ralentit la plupart des réactions chimiques vitales voire les arrêter. Au contraire, des augmentations de température peuvent tuer certaines espèces, mais également favoriser le développement d'autres organismes causant ainsi un déséquilibre écologique [6-8].

II.4.1.3. Pollution radioactive

La radioactivité artificielle des rejets trouve leur source dans l'utilisation de l'énergie nucléaire sous toutes ces formes (installations et centrales d'exploitation de mine d'uranium, traitement des déchets radioactifs). Les éléments radioactifs s'incorporent dans les molécules des organismes vivants. Plus on s'élève dans la chaîne alimentaire plus les organismes sont sensibles aux rayonnements [6-8].

II.4.2. Pollution chimique

Elle résulte des rejets chimiques, essentiellement d'origine industrielle. La pollution chimique des eaux est regroupée dans deux catégories:

- Organiques (hydrocarbures, pesticides, détergents, phénols..);
- Minérales (métaux lourds, cyanure, azote, phosphore...) [8-9].

II.4.2.1. Pollution organique

Les effluents chargés de matières organiques fermentescibles (biodégradables), fournis par les industries alimentaires et agroalimentaires (laiteries, abattoirs, sucreries...). Ils provoquent une consommation d'oxygène dissous de ces eaux, entraînant la mort des poissons par asphyxie et le développement (dépôts de matières organiques au fonds des rivières) de fermentation anaérobie (putréfaction) génératrices de nuisances olfactives [8-9].

II.4.3. Pollution microbiologique

L'eau peut contenir des microorganismes pathogènes (virus, bactéries, parasites) ils sont dangereux pour la santé humaine, et limitent donc les usages que l'on peut faire de l'eau (industrie, utilisation domestique...) [8-9].

II.5. Influence de la pollution des ERI sur l'environnement

Le rejet des eaux résiduaires industrielles dans les rivières provoque une dégradation de la qualité de leurs eaux. Les substances toxiques contenues dans ces eaux peuvent avoir de graves conséquences sur les milieux aquatiques. Les produits chimiques peuvent provoquer des perturbations biologiques qui se traduisent par des troubles dans la reproduction, la croissance ou le système immunitaire des organismes aquatiques. Les eaux résiduaires peuvent également contenir des métaux, tels que du mercure qui s'accumule dans les organismes marins. Ce mercure peut avoir de graves conséquences sur l'Homme en cas d'ingestion.

Cependant, la grande majorité des eaux résiduaires sont directement rejetées dans l'environnement, sans traitement adéquat, ont des effets néfastes sur les milieux aquatiques, la productivité économique, la qualité des ressources d'eau douce environnementales, et les écosystèmes, mais aussi sur la santé humaine [12].

II.6. Epuration des eaux résiduaires industrielles

Dans une station de traitement des eaux polluées (ETP II), l'épuration des eaux passe par différentes étapes: Les prétraitements suivis des traitements physico-chimiques puis les traitements biologiques et enfin les traitements tertiaires.

II.6.1. Prétraitements

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. Toutes les stations d'épuration ne sont pas forcément équipées des trois, seul le dégrillage est généralisé, les autres sont le dessablage et le déshuilage [13].

II.6.1.1. Dégrillage

Le dégrillage et le tamisage permettent de retirer de l'eau et les déchets insolubles tels que: les branches, les plastiques, serviettes hygiéniques,...etc. En effet, ces déchets ne pouvant pas être éliminés par un traitement biologique ou physico-chimique, il faut donc les éliminer mécaniquement. Pour ce faire, l'eau usée passe à travers une ou plusieurs grilles dont les mailles sont de plus en plus serrées. Celles-ci sont en général équipées de systèmes automatiques de nettoyage pour éviter leur colmatage, et aussi pour éviter le dysfonctionnement de la pompe (dans les cas où il y aurait un système de pompage) et on a:

- Le pré-dégrillage grossier dont les barreaux des grilles sont espacés de 30 à 100 mm,
- Le dégrillage moyen de 10 à 30 mm,
- Le dégrillage fin moins de 10 mm,
- Les grilles peuvent être verticales, mais sont le plus souvent inclinées de 60° à 80° sur l'horizontale [13].

II.6.1.2. Dessablage

Le dessablage a pour but d'extraire des eaux brutes, les graviers, les sables et les particules minérales plus ou moins fines, de façon à éviter les dépôts dans les canaux et conduites, ainsi pour protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion et à éviter de surcharger les stades de traitements ultérieurs en particulier les réacteurs biologiques.

L'écoulement de l'eau, à une vitesse réduite (il faut 60 secondes à l'eau pour traverser le dessableur et éliminer 90%), dans un bassin appelé "dessableur" entraîne leur dépôt au fond de l'ouvrage. Les sables récupérés, par aspiration, sont ensuite essorés, puis lavés avant d'être soit envoyés en décharge, soit réutilisés selon la qualité

du lavage. Cette opération concerne les particules minérales de granulométrie supérieure à 100 μm [13].

II.6.1.3. Déshuilage

Le déshuilage est une extraction liquide-liquide tendit que le dégraissage est une extraction solide-liquide. On peut considérer que le déshuilage dégraissage se rapporte à l'extraction de toutes matières flottantes d'une densité inférieure à celle de l'eau. Ces matières sont de nature très diverses (huiles, hydrocarbures, graisses...). Elles peuvent former une émulsion stable et retenue par le brasage de l'eau ou constituer une phase indépendante non émulsionnée [13].

Le déshuilage complet nécessite en fait un traitement en deux stades:

- **Pré-déshuilage**, par opération physique gravitaire sans adjonction de réactifs, réduisant la teneur en HC à environ 15 à 100 mg/l, il s'effectue par flottation naturelle des vésicules huileuses émulsionnées. Si l'émulsion n'est pas trop fine (particules supérieurs à 50 μm). Il est réalisé dans différent types d'appareils: déshuileurs longitudinaux conventionnels, à plaques parallèles et circulaires raclés.
- **Déshuilage final**: flottation par air dissous où les bulles d'air augmentent la vitesse de remontée des particules grasses et des huiles lorsqu'elles ne sont pas émulsionnées, ou coagulation par sels métalliques ou par électrolytes permettant d'obtenir l'épuration complète [14, 15].

II.6.2. Traitement physico-chimique

Le traitement physico-chimique peut être appliqué essentiellement pour réduire les teneurs en métaux (précipitation), en huiles (cassage), en colloïdes. Toutefois, il peut aussi réduire une fraction de la pollution organique (présente sous forme colloïdale) et atténuer la coloration des effluents. Pour certains composés, il peut être associé à des traitements de déshuilage /dégraissage pour obtenir des particules (flocs) susceptibles d'être séparées de l'eau [13, 14].

Le but d'un traitement physico-chimique est de permettre la séparation de phases:

- **Solide/liquide**: Elimination de matières en suspension,
- **Liquide/liquide**: Elimination d'hydrocarbures et d'huiles/graissees.

II.6.2.1. Coagulation –Floculation

La coagulation et la floculation sont les processus qui permettent l'élimination des colloïdes. La coagulation consiste à les déstabiliser. Il s'agit de neutraliser leurs charges électrostatiques de répulsion pour permettre leur rencontre. La floculation rend compte de leur agglomération en agrégats éliminés par décantation et/ou filtration (Voir la figure II.3)



Figure II.3 : Bassin de Floculation

II.6.2.2. Décantation physique

La décantation est utilisée pratiquement dans toutes les usines d'épuration et de traitement des eaux, c'est un procédé de séparation des matières en suspension et des colloïdes rassemblés en floc dont la densité est supérieure à celle de l'eau, elle s'effectue selon un processus dynamique, en assurant la séparation des deux phases solide-liquide de façon continue. Les particules décantées s'accumulent au fond du bassin (Voir la figure II.4), d'où on les extrait périodiquement. L'eau récoltée en surface est dite clarifiée. Elle est dirigée vers un autre stade d'épuration [13].



Figure II.4: Bassin de décantation.

II.6.2.3. Flottation

La flottation est la technique qui peut remplacer la sédimentation. C'est un procédé de séparation liquide-solide basé sur la formation d'un ensemble appelé attelage, formé des particules à éliminer, plus léger que l'eau. Cette technique convient principalement pour éliminer les particules de diamètre compris entre 1 et 400 μ m. Les solides sont transportés à la surface, fixés à des bulles, et sont ensuite écumés. Cette méthode permet d'éliminer des particules plus petites qu'avec la sédimentation. Elle convient davantage aux eaux présentant une haute teneur en algues, une faible turbidité naturelle ou une forte coloration [13].



Figure II.5: Bassin de flottation

II.6.3. Traitement biologique

Le traitement biologique reproduit dans des réacteurs spécifiques. Le principe consiste à mettre la matière organique contenue dans les eaux résiduaires au contact d'une masse bactérienne. Celle-ci se nourrit des polluants et les dégrade. De ce fait, l'épuration biologique consiste à favoriser la prolifération de ces micro-organismes pour utiliser leurs propriétés remarquables dans les conditions les mieux adaptées au résultat désiré. Suivant les conditions de l'environnement des cellules dans l'unité de dépollution, on distingue deux modes de traitement [16-17]:

II.6.3.1. Traitement aérobie

Ce type de traitement fait appel aux bactéries aérobies qui se développent en présence d'oxygène. La dégradation des polluants est effectuée par des réactions d'oxydation dans un milieu aéré.

II.6.3.2. Traitement anaérobie

Ce traitement s'effectue en condition d'anaérobiose c'est-à-dire en absence d'oxygène. Les bactéries anaérobies assurent la décomposition métabolique des composés biodégradables par des processus de fermentation.

II.6.4. Traitement tertiaire

Le traitement tertiaire vise à éliminer la pollution azotée et phosphatée ainsi que la pollution biologique des eaux résiduaires, ayant déjà subi des traitements primaires et secondaires qui sont insuffisants pour améliorer la qualité de l'eau. Pour cela les traitements tertiaires s'imposent et deviennent nécessaires, afin de garantir la protection des milieux naturels récepteurs ou une réutilisation de l'effluent dans l'agriculture ou en industrie. Les traitements tertiaires visent à améliorer la qualité générale de l'eau. Leurs réutilisations imposent certaines opérations. Parmi ces traitements, nous pouvons citer [16-17]:

II.6.4.1. Désinfection

Elle est nécessaire lorsque les eaux résiduaires traitées sont rejetées dans le milieu aquatique à usage balnéaire.

II.6.4.2. Traitement de finition

Dans certains cas, il est important d'atteindre des concentrations très basses en matières en suspension (MES), demande chimique en oxygène (DCO), demande biologique en oxygène (DBO), azote et phosphore.

II.6.4.3. Traitement sur charbon actif

Le traitement sur le charbon actif peut être nécessaire pour certaines molécules résistantes au traitement biologique. Bien souvent, lorsque la STEP accueille des eaux industrielles, il permet d'enlever la couleur de l'effluent.

II.6.5. Epaissement des boues

Les corps polluants et leurs produits de transformation, retirés de la phase liquide au cours de traitement de l'eau en flottation, épuration biologique ou décarbonatation, se rassemble dans des suspensions plus ou moins concentrés dénommées boues. Toutes ces boues constituent un déchet extrêmement liquide. Elles nécessitent un traitement final avant de pouvoir être rejetées dans le milieu naturel. Le traitement final consiste en une déshydratation plus ou moins poussée, permettant d'obtenir un déchet résiduel. L'épaississement, par décantation naturelle, des suspensions boueuses provenant directement des appareils des traitements de l'eau, permet l'amélioration de la production du dispositif de déshydratation [17].

II.6.6. Déshydratation

L'essorage des boues par filtration, consiste en un simple drainage sur le lit de sable.

- Dans un premier temps, le départ de l'eau libérée de la suspension boueuse jusqu'à une teneur en eau de 80% environ.
- Dans un deuxième temps, le départ de l'eau lié jusqu'à obtenir 65% en matières en suspension selon la durée de séjour, les conditions climatiques et les caractéristiques de la boue [17].

II.7. Paramètres de mesure de la pollution des eaux résiduaires industrielles

L'estimation de la pollution industrielle est un problème complexe et délicat qui fait appel à des dosages et des tests de différents paramètres servant à caractériser de manière globale et pertinente le niveau de la pollution présente dans les effluents [13]. Parmi ces paramètres on cite les plus importants:

- **Paramètres organoleptiques:** Couleur et odeur
- **Paramètres physico-chimiques:** pH, Conductivité, TA, TAC, TH, Cl⁻, PO₄³⁻, DCO et DBO₅...etc.

II.8. Eaux résiduaires épurées dans le circuit de refroidissement

Les circuits de refroidissement ont pour mission de refroidir des produits ou des unités de processus par l'intermédiaire d'échangeurs de chaleur. Les eaux d'appoint, toujours minéralisées, et parfois polluées biologiquement (par nature ou par apport extérieur) conduisent souvent à trois types de problèmes:

- Entartrage.
- Proliférations biologiques.
- Corrosion.

Pour cela, les circuits de refroidissement industriels, qu'ils soient ouvert, fermé ou semi-ouvert, sont alimentés en eau résiduaire épurée de la qualité disponible pour éviter les problèmes.

II.9. Conclusion

Dans ce chapitre, une étude bibliographique sur les eaux résiduaires industrielles et ses influences sur l'environnement est présentée. Les procédés d'épuration des eaux résiduaires industrielles ainsi que, les paramètres de mesure de la pollution sont, également, résumés.

Dans le chapitre qui suit, nous présenterons les matériels et méthodes utilisés dans notre étude.

Chapitre III:

Mise en œuvre expérimental

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, la description des équipements et produits chimiques utilisés dans notre étude sont présentés. Le principe et les protocoles expérimentaux de différents paramètres physico-chimiques utilisés pour caractériser la qualité des eaux résiduaires sont, également, décrit.

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 résiduaires industrielles.

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

Produits chimiques	Verreries	Appareils
- Acide sulfurique (H ₂ SO ₄)	- Cellule d'échantillon	- pH mètre
- Phénolphtaléine	- Ballon de 500 ml	- Conductimètre
- Méthylorange	- Barreau magnétique	- Thermomètre
- Ethylène diamine tétra-acétique (EDTA)	- Agitateur	- Spectrophotomètre DR2800
- Noir Eriochrome T(NET)	- Flacon	
- Nitrate de mercure (Hg(NO ₃) ₂)	- Entonnoir	
- Bleu de bromophénol	- Erlenmeyer	
- Acide nitrique (HNO ₃)	- Becher	
- Acide phosphorique (H ₃ PO ₄)	- Chauffe ballon	
- Molybdate d'ammonium ((NH ₄) ₂ MoO ₄)	- Burette	
- Acide chlorhydrique (HCl)		
- Acide oxalique (C ₂ H ₂ O ₄)		
- Acide 1-amino-2-naphtol-4-sulfonique		
- Sulfate d'argent (Ag ₂ SO ₄)		
- Sulfate de mercure (HgSO ₄)		
- Dichromate de potassium (K ₂ Cr ₂ O ₇)		
- Solution de féroïenne		

III.3. Identification des échantillons et protocole d'échantillonnage

Pour contrôler la qualité des eaux résiduaires, nous avons prélevé les échantillons avant et après le traitement pendant la période de notre stage. Les prélèvements des échantillons étaient faits pendant sept jours.

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. Détermination des paramètres de mesure physico-chimiques des eaux résiduaires

III.4.1. Détermination du potentiel hydrogène (pH)

Principe

Le pH a été déterminé par la méthode potentiométrique de la concentration des ions 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).

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.4.2. Détermination de la conductivité électrique

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).

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.4.3. Détermination de la température

Principe

Le thermomètre (Figure III.3) a été utilisé pour la mesure de la température pour les différents prélèvements d'échantillons.

Mode opératoire

- Laver soigneusement l'électrode avec l'eau distillée
- Mettre l'appareil sous tension.
- Immerger l'électrode dans l'échantillon.
- Lire la valeur de température



Figure III.3: Thermomètre [18]

III.4.4. Détermination du titre alcalimétrique (TA)

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.4). Le TA s'exprime en degrés français (°f).

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 pale.

- 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 $\text{CaCO}_3 = V_a \times 10$

III.4.5. Détermination du titre alcalimétrique complet (TAC)

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.4). Le TAC s'exprime en degrés français (°f).

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 pale et noter le volume (V_b) en ml [18].

Expression du calcul: TAC en ppm de $\text{CaCO}_3 = V_b \times 10$

Avec : $V = V_a + V_b$

Remarques importantes

TA: Correspond à la somme des hydroxydes $[\text{OH}^-]$ + la moitié des carbonates $\frac{1}{2} [\text{CO}_3^{2-}]$.

TAC: Correspond à la somme des hydroxydes $[\text{OH}^-]$ des carbonates et bicarbonates $[\text{HCO}_3^-]$.

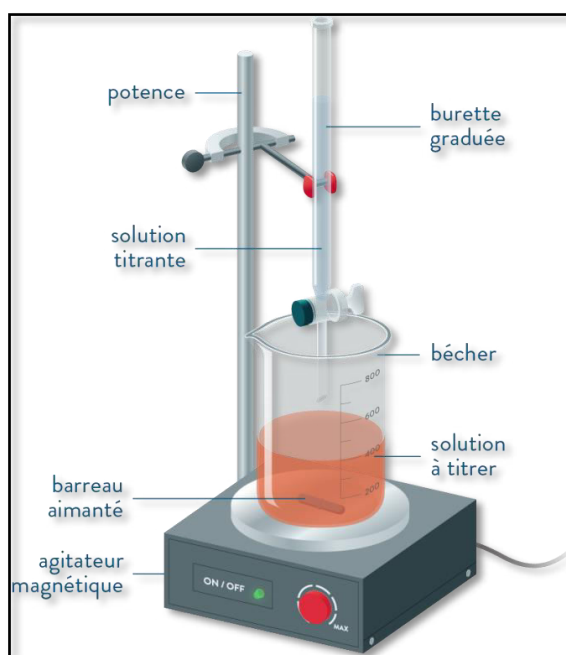


Figure III.4: Montage d'un dosage de TA et TAC

III.4.6. Détermination du titre hydrométrique (TH)

Principe

C'est un titrage direct avec l'EDTA qui forme avec les cations Ca^{2+} et Mg^{2+} des complexes ou chélates stables dans lesquels les cations sont dissimulés à leurs réactifs habituels. En présence de l'indicateur noir ériochrome T; ces complexes se colorent en rouge cerise, et vire au bleu quand la quantité d'EDTA a suffisamment complexé tous les Ca^{2+} et Mg^{2+} présents dans la solution.

Mode opératoire

- Prendre 100 ml de l'échantillon à analyser dans un erlenmeyer de 300 ml.
- Ajouter 2 ml de solution tampon ammoniacal de pH=10.
- Ajouter une pincée d'Indicateur Noir d'Eriochrome (NET), la solution se colore en rouge cerise.
- Titrer avec l'EDTA à 0,01 M jusqu'au virage bleu de l'indicateur et noter le volume (V_{EDTA}) en ml [18].

Expression du calcul : TH de CaCO_3 en ppm = $V_{\text{EDTA}} \times 10$

III.4.7. Détermination du chlorure libre (Cl^-)

Principe

Détermination de la concentration des chlorures Cl^- dans l'eau est basée sur la quantité de nitrate de mercure $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ consommée.

Mode opératoire

- Introduire une prise d'essai de 100 ml dans un erlenmeyer.
- Ajouter 2 gouttes de bleu de bromophénol.
- Ajouter goutte à goutte l'acide nitrique (0,05 N) jusqu'au virage du bleu au jaune clair.
- Ajouter 1 ml de diphényle carbazon.
- Titrer avec le nitrate de mercure $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ à 0,014 N jusqu'au virage au violet. Noter le volume V titré [18].

Expression du calcul: $[\text{Cl}^-]$ en ppm = $(V - \text{blanc}) \times 5$

Avec blanc = 0,1.

III.4.8. Détermination des phosphates (PO_4^{3-})

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.

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 : $[\text{PO}_4^{3-}] \text{ en ppm} = A \times F$

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

III.4.9. Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO)

Principe

La demande chimique en oxygène (DCO) est la mesure de la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique et inorganique oxydable contenue dans un échantillon. Dans les conditions bien définies, certaines matières contenues dans l'eau sont oxydées par un excès de dichromates de potassium en milieu acide et en présence de sulfate d'argent et de sulfate de mercure. L'excès de dichromate de potassium est dosé par le sulfate de fer et d'ammonium.

Mode opératoire

- On introduit 50 ml d'eau à analyser dans un ballon de 500 ml.
- On ajoute 1 g de sulfate de mercure cristallisé et 5 ml de solution sulfurique desulfate d'argent.
- On ajoute 25 ml de solution de dichromate de potassium 0,25 N puis 70 ml de solution sulfurique de sulfate d'argent.
- On chauffe à ébullition pendant 2 h sous réfrigérant à reflux. Après refroidissement pendant 1 h 30 min.

- On fait la dilution jusqu'à un volume de 350 ml avec de l'eau distillée.
- On ajoute quelques gouttes de solution de féroïenne.
- Ensuite, on détermine la quantité nécessaire de fer d'ammonium pour obtenir levirage au rouge violacé [18].

Expression des résultats: $DCO \text{ (ppm)} = 8000 (V_0 - V_1) T / V$

Avec:

V_0 : Volume de sulfate de fer d'ammonium nécessaire au dosage (ml).

V_1 : Volume de sulfate de fer d'ammonium nécessaire à l'essai blanc.

T : Titre de la solution de sulfate de fer d'ammonium.

V : Volume de la prise d'essai en (ml).

III.5. Conclusion

Dans le but de traiter et de suivre la qualité des eaux résiduaires industrielles au niveau de la raffinerie de Skikda (RA1/K) et la réutilisation dans le circuit de refroidissement. Nous avons présenté un aperçu sur les méthodes analytiques utilisés pour mesurer les différents paramètres physico-chimiques qui caractérisent la qualité des eaux résiduaires.

Chapitre IV:
Résultats et discussion

IV.1. Introduction

Ce chapitre résume l'ensemble des résultats obtenus sur le contrôle de la qualité des eaux résiduaires industrielles avant et après épuration par la détermination de différents paramètres de mesure physico-chimiques.

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

Dans le but de déterminer les paramètres de mesure physico-chimiques des eaux résiduaires industrielles avant et après l'épuration, 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. La valeur du pH altère la croissance des microorganismes existant dans l'eau (leur gamme de croissance est comprise entre 5 et 9). Une étude de la variation du pH des eaux résiduaires avant et après le traitement en fonction du temps a été présentée dans la figure IV.1.

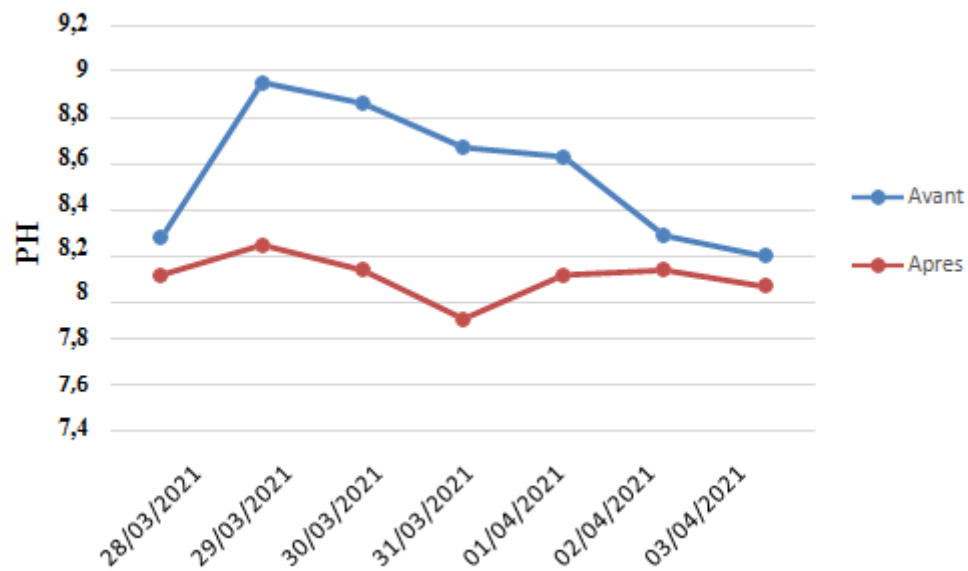


Figure IV.1: Variation du pH des eaux résiduaires avant et après le traitement en fonction du temps.

A partir de la figure IV.1, on remarque que les valeurs de pH des eaux résiduaires à l'entrée de la station (Avant traitement) varie dans un intervalle compris entre 8,2 et 8,95. Tandis qu'à la sortie de la STEP (Après traitement), ces valeurs

varient dans un intervalle très étroit entre 7,93 et 8.25. Ces résultats répondent à la valeur requise du pH. Ce dernier doit être comprise dans une gamme entre: 5 et 9 pour empêcher la croissance des microorganismes existant dans l'eau.

IV.2.2. Variation de la conductivité électrique

La figure IV.2 présente la variation de la conductivité des eaux résiduaires avant et après le traitement en fonction du temps.

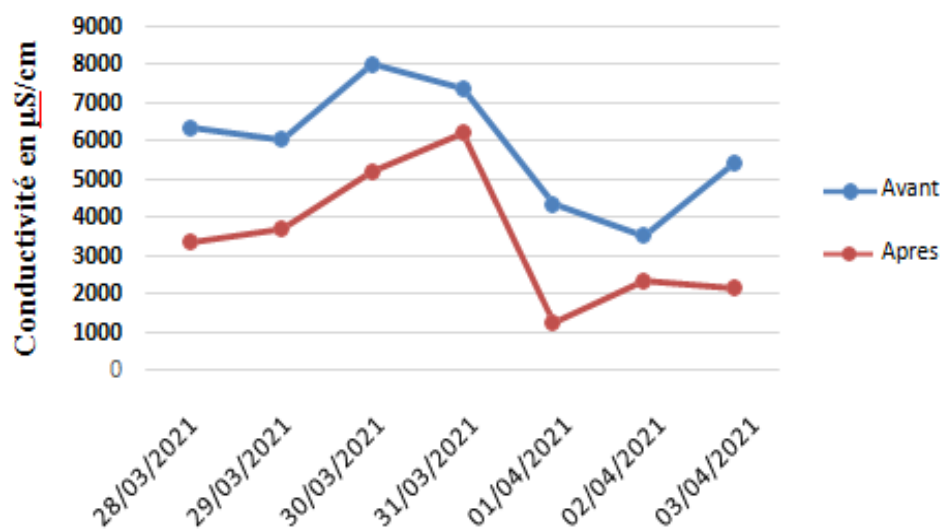


Figure IV.2: Variation de la conductivité des eaux résiduaires avant et après le traitement en fonction du temps.

La conductivité est un paramètre très significatif dans l'évaluation des opérations de traitement des eaux. Nous constatons que ce paramètre diminue de façon insuffisante à la sortie de la STEP passant de valeurs comprises entre 3512 et 8009 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à des valeurs relativement élevées allant jusqu'à 6200 ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Les eaux des unités industrielles sont généralement caractérisées par une conductivité électrique (CE) élevée favorisant la corrosion des matériaux due à la charge organique et d'une très forte minéralisation, qui est la conséquence du traitement chimique intense.

IV.2.3. Variation de la température

La température joue un rôle important dans la solubilité des sels et surtout des gaz (en particulier O₂) dans l'eau et agit aussi comme un facteur physiologique sur le métabolisme de croissance des microorganismes vivants dans l'eau. Dans cette analyse, nous allons étudier la variation de la température des eaux résiduaires avant et après le traitement en fonction du temps comme illustré dans la Figure IV.3.

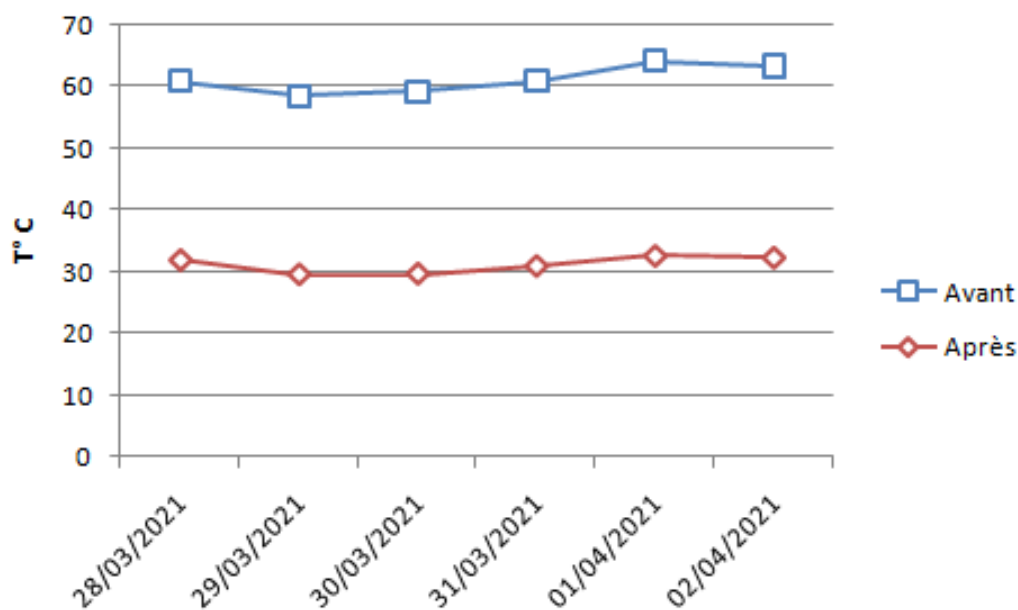


Figure IV.3: La variation de la température des eaux résiduaires avant et après le traitement en fonction du temps

Les valeurs enregistrées de la température par le complexe de raffinage de Skikda, nous a permis de constater que la valeur moyenne des températures des eaux de rejet durant la période d'étude est de l'ordre de 31°C. L'évolution de la température des eaux au cours de notre période d'étude est assez remarquable, elle est marquée par un minimum de 29 °C et un maximum de 32 °C. Cette valeur dépasse de loin la valeur limite des normes et qui est fixée à 30°C.

IV.2.4. Variation du titre alcalimétrique simple (TA) et complet (TAC)

La variation du titre alcalimétrique simple (TA) et complet (TAC) des eaux résiduaires avant et après le traitement en fonction du temps est illustré dans les figures IV.4 et IV.5.

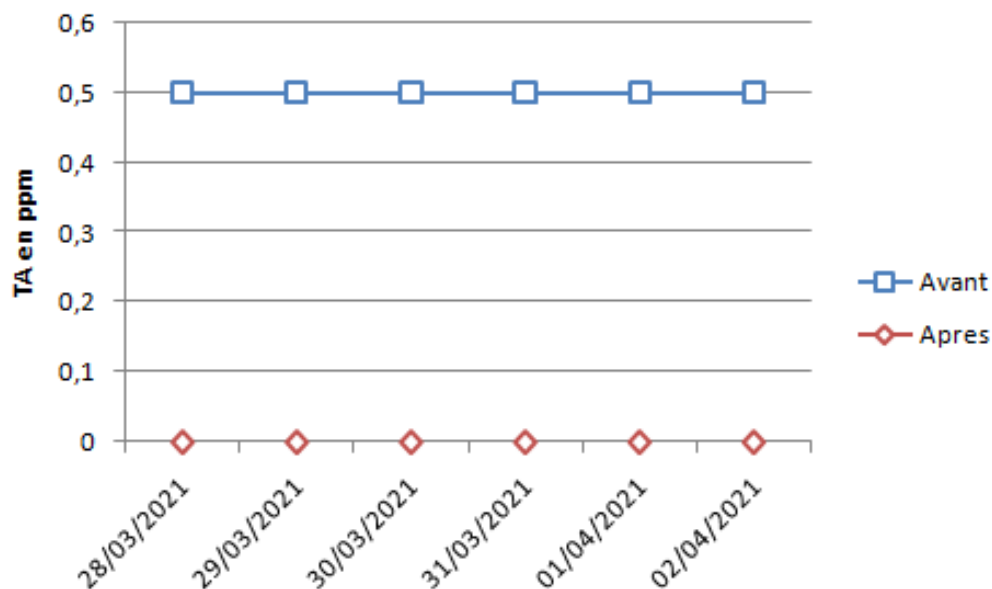


Figure IV.4: La variation de TA des eaux résiduaires avant et après le traitement en fonction du temps

Les résultats de la figure IV.4 montre que les valeurs de TA après le traitement sont toujours inférieur à 0,5 ppm. Donc, elle est dans la limite admise.

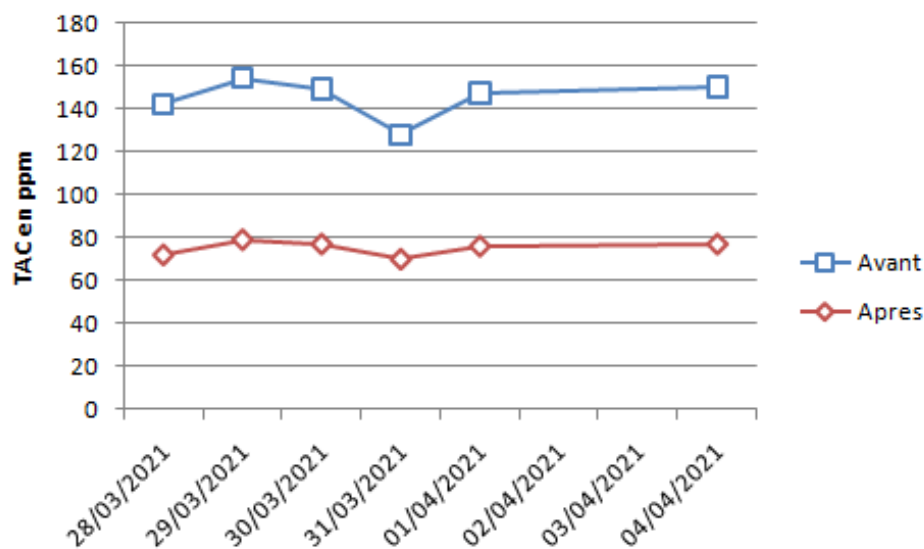


Figure IV.5: La variation de TAC des eaux résiduaires avant et après le traitement en fonction du temps

Les valeurs de TAC des eaux résiduaires de la raffinerie de Skikda sont variables. Elle présente une valeur maximale de 90 ppm et une valeur minimale de 70 ppm. Ces valeurs montrent qu'on est dans les normes recommandées.

IV.2.5. Variation du titre hydrométrique (TH)

La figure IV.6 illustre la variation du titre hydrométrique (TH) des eaux résiduaires avant et après le traitement en fonction du temps.

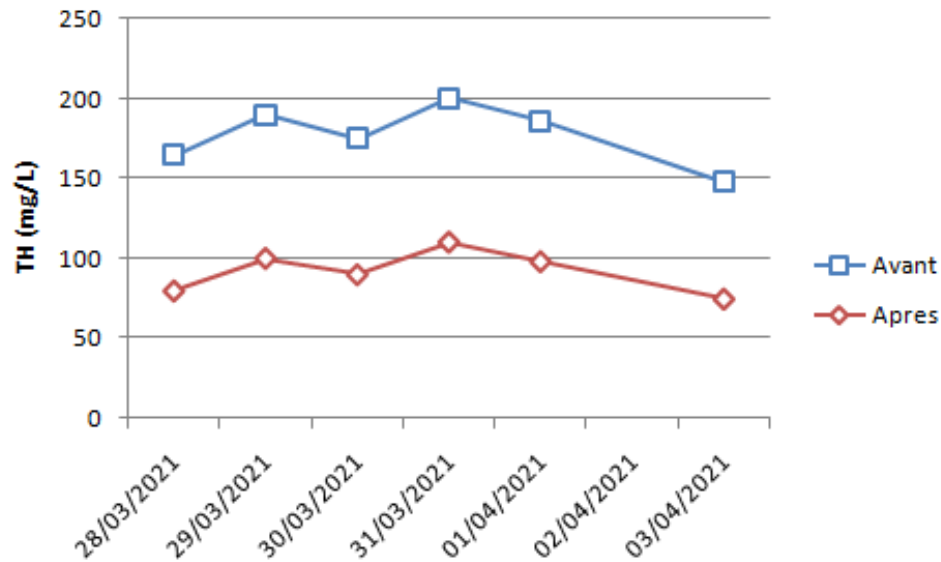


Figure IV.6: La variation de TH des eaux résiduaires avant et après le traitement en fonction du temps

Les valeurs de la dureté totale des eaux résiduaires rejetées par la raffinerie de Skikda sont variables, elles présentent une valeur maximale de 125 mg/l et une valeur minimale de 80 mg/l. Ces valeurs montrent qu'on est dans le cas des eaux très dures.

IV.2.6. Variation du chlorure libre (Cl^-)

Les teneurs en chlorures des eaux, varient principalement selon la nature des terrains traversés. Ainsi, les eaux courantes exemptes de pollution ont une teneur généralement inférieure à 25 mg/l. Cependant, la variation du chlorure libre (Cl^-) des eaux résiduaires avant et après le traitement en fonction du temps a été montré dans Figure IV.6.

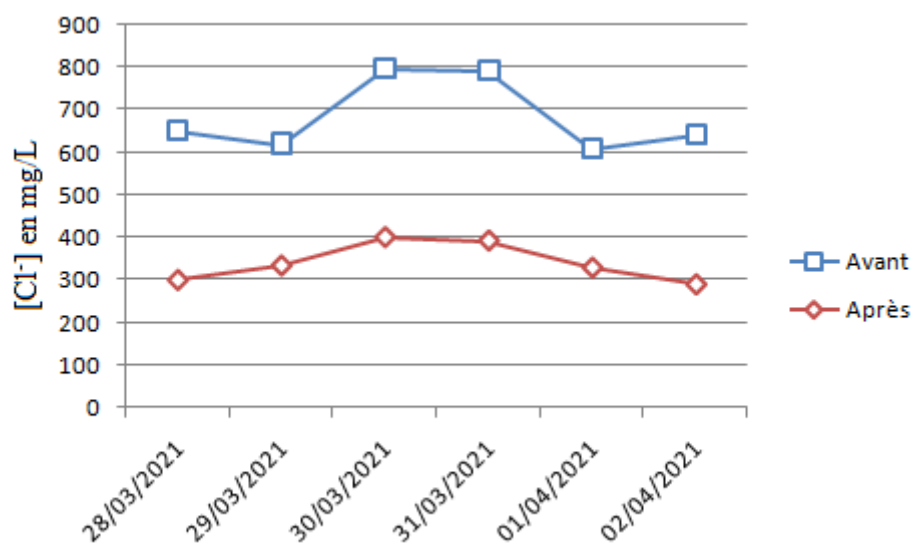


Figure IV.6: La variation du chlorure libre (Cl^-) des eaux résiduaires avant et après le traitement en fonction du temps

Les valeurs de chlorures des eaux résiduaires rejetées par la raffinerie sont variables, elles présentent une valeur minimale de 74.5 mg/l, une valeur maximale allant de 244.9 mg/l et avec une teneur moyenne en chlorure enregistrée durant la période de prélèvement de 369,6 mg/l. Ces valeurs sont essentiellement élevées et présentent le résultat des installations de stockage des hydrocarbures et les sels utilisés pour le nettoyage et l'entretien des installations; ce qui cause des conséquences sur le milieu récepteur.

IV.2.7. Variation des phosphates (PO_4^{3-})

Dans notre analyse, la variation des phosphates (PO_4^{3-}) des eaux résiduaires avant et après le traitement en fonction du temps a été illustré dans la figure IV.7.

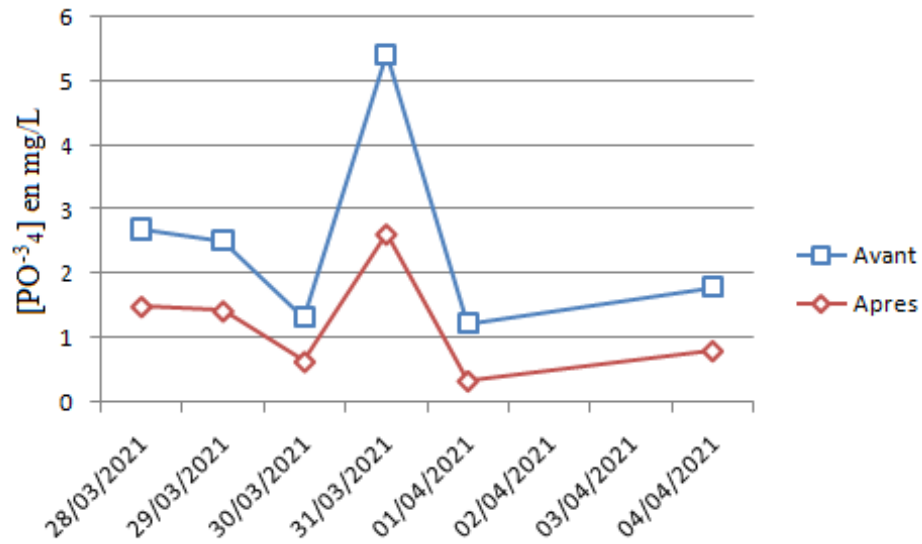


Figure IV.7: Evolution du phosphate (PO_4^{3-}) des eaux résiduaires avant et après le traitement en fonction du temps.

On remarque que les valeurs du phosphate des eaux résiduaires après le traitement se réduisent plus et sont dans les normes admise.

IV.2.8. Variation de la demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène consommée par les matières oxydables existantes dans l'eau et dans des conditions opératoires définies. La variation de la demande chimique en oxygène (DCO) des eaux résiduaires avant et après le traitement en fonction du temps a été illustrée dans la figure IV.8.

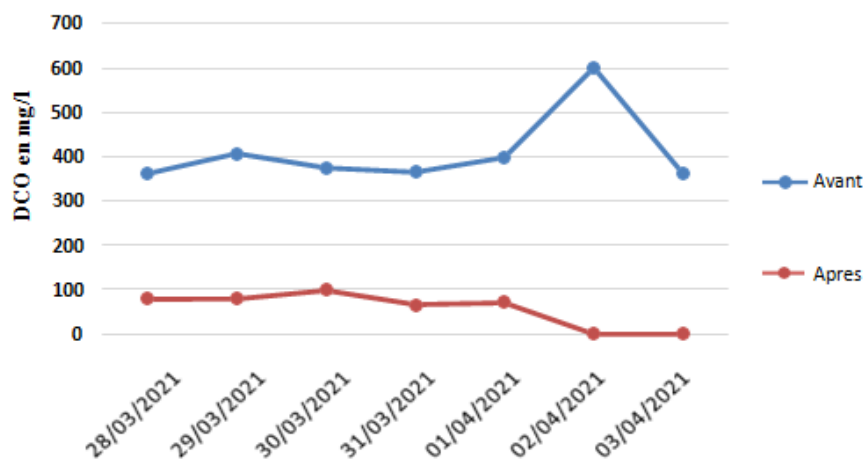


Figure IV.8: Variation de la demande chimique en oxygène (DCO) des eaux résiduaires avant et après le traitement en fonction du temps.

Les valeurs enregistrées de la demande chimique en oxygène (DCO) par le complexe de raffinage de Skikda, à l'entrée de la station reste supérieur à la valeur de 362 mg/l d'O₂ et atteint pour certains échantillons des valeurs très élevées allant de 601 mg/l d'O₂. Après le traitement, ces valeurs diminuent considérablement où nous enregistrons la valeur de 66,3 mg/l d'O₂ comme valeur minimale faible.

IV.3. Conclusion

Dans cette étude, les résultats obtenus ont été montré que les eaux épurés ont été chaudes, pauvres en oxygène, neutre à alcalin, avec une minéralisation importante dans la plus part du temps. En plus, ces eaux sont très dures et de conductivité électrique importante. Ainsi que, les chlorures ont révélé avec des teneurs importantes ce qui cause des conséquences sur le milieu récepteur. Ces eaux résiduaires ont une demande chimique en oxygène faible donc acceptable avec les normes.

On peut conclure que la plupart des paramètres de mesure physico-chimiques sont conformes aux normes sauf quelques paramètres qui se trouvent hors les normes recommandées. Ces résultats nous a permis de constater que la station d'épuration est en disfonctionnement.

En effet, le diagnostic primaire de l'eau résiduaire nous a amené à localiser les problèmes de la station pour mieux choisir les quantités des produits injecter lors du procédé de coagulation, afin d'assurer une bonne clarification avec le moindre coût. Alors, on peut dire que le procédé de coagulation-floculation est l'étape principale du processus de dépollution des eaux résiduaires industrielles et elle est plus efficace avec le sulfate d'aluminium, dont la concentration de ce dernier influe sur le pH et la conductivité ainsi que les autres paramètres analysés.

Conclusion générale

Ce travail a été réalisé au niveau de la raffinerie de Skikda (RA1/K), et plus particulièrement au sein du laboratoire central. Cette étude est basée sur le suivi de la qualité des eaux résiduaires avant et après l'épuration pour la réutilisation dans le circuit de refroidissement.

L'analyse des échantillons prélevés avant et après l'épuration, basant sur la détermination de plusieurs paramètres de mesure physico-chimiques. Les résultats de notre étude nous a permis de constater que la station d'épuration ne fonctionne pas bien. En effet, le diagnostic primaire de l'eau résiduaire nous a amené à localiser les problèmes de la station d'épuration pour mieux choisir les quantités des produits à injecter lors du procédé de coagulation, afin d'assurer une bonne clarification avec le moindre coût. Alors, on peut dire que, le procédé de coagulation-floculation est l'étape principale du processus de dépollution des eaux résiduaires industrielles et elle est plus efficace avec le sulfate d'aluminium, dont la concentration de ce dernier influe sur le pH et la conductivité ainsi que les autres paramètres analysés.

L'épuration réalisée à l'échelle du laboratoire, au cours de cette étude, peut être appliquée aussi à l'échelle industrielle sur la station d'épuration mais, après avoir rectifié les problèmes de dysfonctionnement ce qui nécessite une réhabilitation de cette dernière. Cela consiste à:

- Evacuation régulière des boues, la maîtrise des débits et la diminution des charges massiques des décanteurs, pour éviter le dysfonctionnement de la station ainsi que le renforcement des moyens électromécaniques.
- Remplacement des anciens équipements par d'autres plus moderne et le renforcement des moyens de contrôle et de mesure pour la modernisation de l'exploitation.

Références bibliographiques

- [1] Institut Algérien de Pétrole (IAP) de Skikda, Description du complexe (SONATRACH),2005.
- [2] O.M.I. 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. Amiour, Etude de l'unité d'extraction des aromatiques et calcul de vitrification de section de fractionnement de la raffinerie de Skikda, 1^{ère} 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 épures comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement, Mémoire de Magister, l'Université du 20 Août 1955 SKIKDA, 2009
- [9] S. Khaled, Suivi la nouvelle unité de traitement des effluents ETPII de la raffinerie de Skikda, Mémoire de Master, Université de Skikda, 2014
- [10] A. Bouloudani, Etude la filière de traitement des effluents liquides et des bous dans nouvelle station d'épuration de la raffinerie de Skikda, Mémoire de Master, Université de Skikda, 2014.
- [11] [https://www.google.dz/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.actuenvironnement.com%2Fmedia%2Fpdf%2Fnews-28664-rapport-onu-eaux usees.pdf](https://www.google.dz/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.actuenvironnement.com%2Fmedia%2Fpdf%2Fnews-28664-rapport-onu-eaux%20usees.pdf)
- [12] [https://www.oeil.nc/fr/cause/rejet-d eaux-usees](https://www.oeil.nc/fr/cause/rejet-d%20eaux-usees)
- [13] H. Soualhi, R. Guetitcha, Etude de la qualité des eaux de chaudières par des analyses physico-chimiques au niveau de la raffinerie de Skikda (RA1/K), Mémoire de Master, Université 20 Août 1955-Skikda, 2020.
- [14] Traitement physicochimique de la pollution soluble, Technique de l'ingénieur, Volume G1270.
- [15] C. Baar, V. Letebvre et al, Traitement des eaux usées (1). Université libre de Bruxelles, 2005.

- [16] 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.
- [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).