



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أمحمد بوقرة ببومرداس
Université M'Hamed Bougara de Boumerdès
كلية المحروقات والكيمياء
Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie



Département Génie des Procédés Chimiques et Pharmaceutiques

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue d'obtention de diplôme de Master

Spécialité : Génie des Procédés

Option : Hygiène Sécurité et Environnement (HSE)

Thème

**Traitement des effluents liquides industriels de NAFTAL chargée
en métaux lourds et en hydrocarbures par adsorption sur le
charbon actif**

Présenté par :

BELAGOUNE Akram

Encadré par :

Dr K. MAHDI

Devant le jury composé de :

M. SAOUD.A

MCA

UMBB

Président

Mme BOUCHEMEL.H

MCB

UMBB

Examinatrice

Mme MAHDI.K

MCB

UMBB

Encadrant

Année universitaire : 2023/2024

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

*La première personne que je tiens à remercier est notre encadrante Mme. **MAHDI Karima** pour l'orientation, la confiance, la patience et ses bonnes explications qui ont constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port.*

*Nous souhaitons remercier monsieur **FEDDOULE Djamel**, notre superviseur de projet chez CRD, pour sa confiance ces conseils et sa présence, qui ont grandement contribué au succès de ce travail. Nous lui sommes particulièrement reconnaissants pour son aide tout au long du processus.*

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions. Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à tous les professeurs qui nous ont enseigné et qui par leurs compétences nous ont soutenu dans la poursuite de nos études.

Je tiens à exprimer ma plus profonde gratitude envers mes chers parents qui m'ont soutenu pas à pas tout au long de ma carrière académique.

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

*A mes chers parents (Abdellah) et (Samira), que nulle dédicace ne puisse exprimer
mes sincères sentiments, Pour leur patience illimitée, leur encouragement continu, leur aide,
en témoignage de mon profond amour et respect pour leurs grands sacrifices À mes chères sœurs*

« Meriem et INES ».

À mon frère « SOUHAIB ».

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce travail

Soit possible, je vous dis merci.

Finalement

Je demande à Dieu tout puissant d'accorder la victoire à nos frères opprimés à Gaza.

Résumé :

La wilaya d'Alger représente le pôle industriel le plus important de l'Algérie, mais cette forte concentration industrielle n'est pas sans conséquences. D'énormes quantités d'effluents liquides sont rejetés dans le milieu récepteur et sans traitements appliqués, ces polluants détériorent l'environnement, et entraînent de graves risques sanitaires.

Le rendement d'une station d'épuration, représente ainsi le facteur principal pour l'évaluation de la qualité des eaux rejetées dans les milieux naturels. Dans le cadre de l'étude des performances opératoires de la station d'épuration des eaux usées industrielles de NAFTAL, basée sur le procédé physique de décantation dans des séparateurs Eau/Hydrocarbure. Nous avons procédé à l'estimation des variations des différents paramètres physico-chimiques et biologiques les plus significatifs (Température, Ph, DBO5, DCO, MES, Azote total, Hydrocarbures totaux, Indice de phénols, Plomb et chrome). Cependant, Nous avons trouvé que la station de traitement ne peut pas traiter les substances difficilement biodégradables. Durant les dernières décennies, beaucoup de recherche se sont intéressé aux nouvelles méthodes de décontamination notamment l'adsorption sur charbon actif. Ce travail a pour le but de tester l'efficacité de cette méthode de dépollution.

Abstract:

The state of Alger represents the most important industrial pole of Algeria, but this strong industrial concentration is not without consequences. Huge quantities of liquid effluents are discharged into the receiving environment and without adequate treatment applied; these pollutants deteriorate the environment and cause serious health risks.

The performance of a treatment plant is thus the main factor for assessing the quality of water discharged into natural environments. As part of the study of the operating performance of the NAFTAL industrial wastewater treatment plant, based on the physical process of settling in Water/Hydrocarbon separators. We proceeded to estimate the variations of the various most significant physico-chemical and biological parameters (Temperature, Ph, BOD5, COD, MES, Azot Total, Total Hydrocarbons, Oilsand Fats, Phenol Index, Lead and Chromium).

However, we found that treatment stations cannot process substances that are difficult to biodegrade. Over the past decades, much research has focused on new decontamination methods, notably adsorption. This work aims to test the effectiveness of this method.

ملخص

ولاية الجزائرية تمثل القطب الصناعي الأهم في الجزائر، لكن هذا التركيز الصناعي الكبير ليس بدون عواقب. تُطرح كميات هائلة من المياه العادمة في الوسط المستقبل، وبدون معالجة، تؤثر هذه الملوثات سلبيًا على البيئة وتشكل مخاطر صحية خطيرة. كفاءة محطة التنقية تمثل بذلك العامل الرئيسي في تقييم جودة المياه المطلقة في البيئات الطبيعية. في إطار دراسة أداء محطة معالجة مياه الصرف الصناعي لشركة نفثال، المعتمدة على عملية الترسيب الفيزيائي في فواصل الماء/الهيدروكربونات. قمنا بتقدير تغيرات المعلمات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية الأكثر أهمية (درجة الحرارة، درجة الحموضة، الأكسجين القابل للتحلل البيولوجي لمدة 5 أيام، الطلب الكيميائي للأكسجين، المواد العالقة، النيتروجين الكلي، الهيدروكربونات الكلية، الزيوت والدهون، مؤشر الفينول، الرصاص والكروم). ومع ذلك، وجدنا أن محطات المعالجة لا تستطيع معالجة المواد الصعبة التحلل بهدف البيولوجي لها. خلال العقود الأخيرة، تركزت الأبحاث بشكل كبير على طرق التلوث الجديدة، بما في ذلك الامتزاز هذا العمل إلى اختبار فعالية عدة طرق لتلويث البيئة

LISTE DES ABREVIATION

°C	Degré Celsius
CE	La conductivité électrique
Cm	Centimètre
COHA	Composés organiques halogénés adsorbables
CO2	Dioxyde de carbone
D	Diamètre
DBO	Demande Biochimique en Oxygène.
DBO5	Demande Biochimique en Oxygène pendant 5 jours.
DCO	Demande chimique en oxygène.
g	Gramme
h	Heure
H2O	Eau
HC	Hydrocarbure
HSE	Hygiène Sécurité Environnement
J	Jour
MES	Matières en suspension
Mg	Magnésium
Min	Minute
ml	Millilitre
MVS	Matières Volatiles en Suspension
NGL	Azote Global
O2	Dioxygène

OMS	Organisation mondiale de la Santé.
PH	Potentiel d'hydrogène
POP	Polluants organiques persistants
STEP	Station d'épuration
T	Température
UNESCO	Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et La culture
Mg	microgramme
%	pourcentage
NTU	Nephelometric Turbidity Unit
EN	Européen Norme
HQ	High Qualité
HT	High Temperature
TNT	Technology Nitrat Test
COT	Carbone Organique Total
ICP	Inductively Coupled Plasma
CA	Charbon actif
CPG	Chromatographie phase gazeuse

LISTE DES FIGURES

Chapitre I : Généralité sur les eaux usées

Figure I.1 : Les différentes formes d'azote et les relations entre elles. (MORIN-CRINI et al. 2017).

Chapitre II : Les procédés de traitement des eaux usées

Figure II.1 : Schéma générale de différent traitement des eaux usées.

Figure II.2 : Schéma représentatif d'un dessableur-déshuileur.

Figure II.3 : Schéma expliquant le processus de coagulation-floculation.

Figure II.4 : Schéma de coagulation floculation suivis d'une décantation et une filtration.

Figure II.5 : Schéma simplifié d'un système à boues activées.

Chapitre III : Matérielles et méthodes

Figure III.1 : Plan de situation des centres AVM AC4

Figure III.2 : Séparateur E/HC de classe I.

Figure III.3 : Plan du séparateur E/HC de classe II.

Figure III.4 : ph mètre.

Figure III.5 : Turbidité-mètre.

Figure III.6 : TITRATEUR TITROLINE 5000 (conductimètre)

Figure III.7 : appareil de filtration sous vide ou sous pression

Figure III.8: Étuve

Figure III.9 : Dessiccateur

Figure III.10 : DBO mètre

Figure III.11 : préparation de DBO5 (laboratoire CRD, Boumerdes)

Figure III.12 : système de distillation et le titrage

CHAPITRE 04 : Résultats et discussion

Figure IV.1 : Variation de la température à la sortie de la station.

Figure IV.2 : Variation du potentiel d'hydrogène Ph à la sortie de la station.

Figure IV.3 : Variation de la DBO5 à la sortie de la station.

Figure IV.4 : Variation de la DCO à la sortie de la station.

Figure IV.5 : Variation de la teneur en MES à la sortie de la station.

Figure IV.6 : Variation de l'indice de phénols à la sortie de la station.

Figure IV.7 : Variation du teneur en huiles et graisse à la sortie de la station.

Figure IV.8 : Variation de la teneur en azote Total à la sortie de la station.

Figure IV.9 : Variation des hydrocarbures totaux à la sortie de la station.

Figure IV.10 : résultat d'indice d'hydrocarbure depuis l'équipement CPG

Figure IV.11 : Variation des métaux lourds (chrome total) à la sortie de la station.

Figure IV.12 : Variation des métaux lourds (plomb total) à la sortie de la station.

Figure IV.13 : Evolution de la DCO en fonction de temps.

Figure IV.14 : Evolution du rendement de l'adsorption des polluants en fonction de temps

Figure IV.15 : Evolution de la DCO en fonction de quantité de CA

Figure IV.16 : Evolution du rendement de l'adsorption des polluants en fonction de quantité de charbon actif

Figure IV.17 : Evolution de la DCO en fonction de Ph.

Figure IV.18 : Evolution de rendement d'adsorption en fonction de Ph

Figure IV.19 : Evolution de concentration de chrome total en fonction de temps

Figure.IV.20 : Effet du temps sur le rendement d'adsorption des ions de chrome total sur le charbon actif

Figure.IV.21 : Evolution de concentration de plomb total en fonction de temps

Figure.IV.22 : Effet du temps sur le rendement d'adsorption du plomb total sur le charbon actif

Figure.IV.23 : Effet de la masse du charbon actif sur l'adsorption des ions de Cr.

Figure.IV.24 : Effet de masse du charbon actif sur le rendement d'adsorption des ions de Cr.

Figure.IV.25 : Effet de la masse du charbon actif sur l'adsorption des ions de Pb

Figure.IV.26 : Effet de masse du charbon actif sur le rendement d'adsorption du Pb

Figure.IV.27 : Effet du ph sur la concentration des ions du Cr sur le charbon actif

Figure.IV.28 : Effet du ph sur le rendement d'adsorption des ions du Cr sur le charbon actif

Figure.IV.29 : Effet du ph sur la concentration des ions du Pb sur le charbon actif

Figure.IV.30 : Effet du ph sur le rendement d'adsorption des ions du Pb sur le charbon actif

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I : : Généralité sur les eaux usées

Tableau I.1 : Classification des eaux résiduaires industrielles chimiques et de synthèse avec Mise en évidence de l'origine et des caractéristiques principales des effluents rejetés

Tableau I.2 : Normes de rejet internationales

Tableau I.3 : Prescriptions relatives aux rejets provenant des stations d'épuration des eaux Urbaines résiduaires en Europe

Tableau I.4 : Valeurs limites des paramètres de rejets des effluents liquides industriels Algériennes

Chapitre II : les procédées de traitement des eaux usées

Tableau II.1 : Les différences entre l'Adsorption physique et chimique

Chapitre III : Matérielles et méthodes

Tableau III.1. : Localisation du centre AVM AC4 El Harrach.

Tableau III.2 : Valeurs limites des paramètres de rejet d'effluents liquides industriels.

Tableau III.3 : Matériels et les réactifs utilisés pour mesurer les MES.

CHAPITRE 04 : Résultats et discussion

Tableau IV.1 : Variation de la température à la sortie de la station.

Tableau IV.2 : Variation du potentiel d'hydrogène pH à la sortie de la station.

Tableau IV.3 : Variation de la DBO5 à la sortie de la station.

Tableau IV.4 : Variation de la DCO à la sortie de la station.

Tableau IV.5 : Variation de la teneur en MES à la sortie de la station.

Tableau IV.6 : Variation de l'indice de phénols à la sortie de la station.

Tableau IV.7 : Variation des teneurs en huiles et graisses à la sortie de la station.

Tableau IV.8 : Variation de la teneur en azote total à la sortie de la station.

Tableau IV.9 : Variation de la teneur en hydrocarbures totaux à la sortie de la station.

Tableau IV.10 : Variation des métaux lourds (chrome total) à la sortie de la station.

Tableau IV.11 : Variation des métaux lourds (plomb total) à la sortie de la station.

Tableau IV.12 : Evolution de DCO en fonction de temps par charbon actif

Tableau IV.13 : Evolution de DCO en fonction de la quantité de charbon actif

Tableau IV.14 : Evolution de la DCO et le rendement de l'adsorption des polluants en Fonction de Ph.

Tableau IV.15 : Evolution de concentration de chrome totale en fonction de temps

Tableau IV.16 : Evolution de concentration de plomb totale en fonction de temps.

Tableau IV.17 : Evolution de concentration de Chrome totale en fonction de quantité du charbon actif.

Tableau IV.18 : Evolution de concentration de plomb totale en fonction de quantité du charbon actif.

Tableau IV.19: Evolution de concentration de Chrome totale en fonction de Ph.

Tableau IV.20 : Evolution de concentration de Plomb totale en fonction de Ph.

Sommaire

Remerciement

Dédicace

Résumé

Abstract

ملخص

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale.....1

Chapitre I : Généralité sur les eaux usées.

1. Introduction	3
2. Origine et composition des eaux usées	3
2.1. Origine domestique	3
2.2. Les eaux usées agricoles	3
2.3. Les eaux de pluie et de ruissellement	3
2.4. Origine et nature des rejets industriels	4
3. Caractéristiques des eaux usées industrielles	5
3.1. Paramètres de mesure de la pollution	5
4. Caractéristiques des eaux usées par secteur pétrochimique.....	10
5. Conséquences de la pollution par les eaux usées industrielles.....	11
6. Les normes de rejets.....	11
6.1. Normes internationales	11
6.2. Normes Européennes.....	12
6.3. Normes Algériennes	13
7. Problématique des eaux usées industrielles en Algérie.....	14

Chapitre II : Les procédés de traitement des eaux usées

1. Introduction	15
2. Les procédés de traitement des eaux usées.....	16
3. Importance du traitement des eaux	16
4. Les étapes de traitement des eaux usées	16
4.1. Le prétraitement des eaux	16

4.2. Traitement primaire	18
4.3. Le traitement secondaire	19
4.4. Le traitement tertiaire	21
5. Généralité sur l'adsorption	22
5.1. Définition.....	22
5.2. Types d'adsorption	22
5. 3. Description du mécanisme d'adsorption.....	24
5.4. Equilibre d'adsorption	24
5. 5. Facture influençant l'adsorption.....	25
5.6. Les adsorbants.....	26
6. Généralité sur Oxydation avancé	26
6.1. Les POA incluent plusieurs procédés.....	27
6.2. Les procédés d'oxydation avancée.....	27
6.3. Les avantages et les inconvénients des procédés d'oxydation avancée.....	28

Chapitre III : Matérielles et méthodes

1. Présentation du centre AVM AC4 d'El Harrach	30
2. Objectifs stratégiques HSE	31
3. Paramètres NAFTAL	32
4. La station de traitement de NAFTAL.....	32
4. 1. Séparateur E/HC de classe I (avec filtre coalesceur)	33
4. 2. Séparateur E/HC de classe II (sans filtre coalesceur)	33
5. Protocole expérimentale utilisé	34
5.1. Paramètre à analyser	34
5.2. Adsorption sur charbon actif	47
6. Conclusion	48

Chapitre IV : Résultats et discussions

1. Introduction	49
2. Caractéristiques des eaux usées au niveau de la station Harrach	49
3. Traitement des eaux par l'adsorption sur charbon actif.....	58
3.1. La variation de DCO après traitement.....	58
3.2. La variation des métaux lourds après traitement (Cr, Pb)	62
4. Conclusion	70

INTRODUCTION

GENERALE

Le développement industriel et la croissance démographique ont procuré une série d'avantages à la société, améliorant incontestablement la qualité de vie des êtres humains. D'autre part, de nombreux problèmes environnementaux sont apparus à la suite de l'augmentation de la production et de la consommation [1].

Parmi eux figurent la génération et l'émission des déchets et des polluants, tant domestiques qu'industriels. Des contaminants dangereux sont ainsi injectés dans le sol et les masses d'eau par le rejet inapproprié d'eaux usées industrielles très nocifs pour l'écosystème.

Les effluents d'eaux usées sont des contributeurs majeurs à la problématique de pollution de l'eau. En raison de l'absence ou de l'inadéquation des installations de traitement des eaux usées et de leurs effluents, elles sont souvent rejetées dans des sources d'eau de surface, qui sont des réceptacles pour les déchets domestiques et industriels, causant ainsi leur dégradation [2].

Le rejet des eaux usées chargées en substances polluantes dans l'environnement, sans aucun traitement préalable est un motif de préoccupation croissant compte tenu des effets indésirables qu'elles peuvent engendrer sur la santé humaine, la flore et la faune. Cependant, l'homme n'a jamais cessé de rechercher des moyens efficaces pour dépolluer ses multiples rejets.

Selon la nature et l'importance de la pollution, différents procédés peuvent être mis en œuvre pour l'épuration des rejets industriels et urbains.

NAFTAL est une entreprise nationale fondée en 1982 et filiale à 100% du holding SONATRACH Valorisation des Hydrocarbures (SVH) ; elle est rattachée à l'activité de commercialisation, et a pour mission principale, le stockage, la distribution et la commercialisation des produits pétroliers raffinés et dérivés sur le marché national.

Les produits issus des raffineries (carburants essentiellement) sont acheminés vers les centres de stockage de NAFTAL soit par voie terrestre (transport avec camions ou pompage direct à travers des pipelines) ou par voie maritime (cabotage maritime)

L'essentiel des effluents liquides industriels que produit NAFTAL provient du produit lui-même lors de son approvisionnement, et de la pollution superficielle du sol qui a lieu lors des différents remplissages des camions de commercialisation (à travers les eaux pluviales, et les opérations de rinçage). Ces eaux sont ainsi collectées et redirigées vers des bassins de décantation pour éviter d'autres contaminations.

Le centre d'aviation Harrach (AVM AC4) comporte deux dispositifs de traitement d'effluents liquides industriels : un Séparateur Eau/Hydrocarbures de classe II ou une Unité de traitement doté d'un séparateur Eau/Hydrocarbure de classe I.

Comment améliorer le rendement de la station d'épuration des eaux usées industrielles de NAFTAL dans la wilaya d'Alger pour traiter efficacement les substances difficilement biodégradables ? pour cette raison nous avons utilisé le procédé de l'adsorption sur charbon actif.

Pour présenter notre travail et les différents résultats, nous avons structuré le mémoire en quatre chapitres :

Chapitre I : généralité sur les eaux usée et leurs propriétés.

Chapitre II : les procédés de traitement des eaux usée.

Chapitre III : Matérielles et méthodes.

Chapitre IV : résultats et discussions.

CHAPITRE I :

Généralité sur les eaux usées

1. Introduction

Les eaux résiduaires urbaines (ERU), ou eaux usées, sont des eaux chargées de polluants, solubles ou non, provenant essentiellement de l'activité humaine. Une eau usée est généralement un mélange de matières polluantes répondant à ces catégories, dispersées ou dissoutes dans l'eau qui a servi aux besoins domestiques ou industriels.

Les eaux usées sont des liquides utilisés, des solutions, des colloïdes ou des suspensions, ainsi que des déchets solides déversés via des canalisations vers des récepteurs naturels, tels que des réservoirs ou des cours d'eau, des fosses d'épuration, etc.

2. Origine et composition des eaux usées

2.1. Origine domestique

Les eaux usées ménagères et utilitaires (municipales) sont des eaux usées étroitement liées à l'existence humaine et sont générées lors de l'utilisation de liquides dans les maisons d'habitation, les dépendances et les lieux publics. Ce type d'eaux usées comprend des suspensions (fèces, sécrétions, muqueuses animales et humaines, résidus alimentaires...), des composés organiques (sucres, protéines, graisses), des composés chimiques (l'avants et lessives, huiles). A ces eaux fortement polluées s'ajoutent, (selon le type de réseau séparatif ou pseudo-séparatif, ou unitaire) des eaux moins polluées qui peuvent provenir des toitures, de drainage, de cours, de sous-sol et garage.

2.2. Les eaux usées agricoles

Les eaux usées agricoles représentent les eaux qui ont été contaminées et polluées par des substances utilisées dans le domaine de l'agriculture, dont les engrais et les pesticides. Les eaux issues de terres cultivées chargées d'engrais azotés, nitrates et phosphates conduisent par ruissellement à un enrichissement en matières azotées ou phosphatées des nappes superficielles et des cours d'eaux. L'agriculture est ainsi la cause principale des pollutions diffuses [3].

2.3. Les eaux de pluie et de ruissellement

Les eaux pluviales ruissellent dans les rues où se sont déjà accumulés les polluants, poussières, suies de combustion et hydrocarbures rejetés par les véhicules. Ces eaux se chargent ainsi par ces substances et sont souvent drainées directement dans les rivières entraînant ainsi une pollution intense du milieu aquatique [3].

2.4. Origine et nature des rejets industriels

La diversité des activités industrielles engendre des rejets spécifiques de caractéristiques variables et de composition hétérogène souvent fluctuante. Ce qui implique une investigation propre à chaque type d'industrie. Il est donc fondamental d'être parfaitement informé sur les procédés de fabrication et l'organisation des circuits d'alimentation en eau de l'usine ainsi que des réseaux d'assainissement assurant l'évacuation de la production polluante [4].

Les eaux résiduaires industrielles (ERI) se différencient, en fonction de l'utilisation de l'eau, en différentes catégories :

2.4.1. Effluents de fabrication ou de procédés

La plupart des procédés conduisent à la fabrication ou à la transformation d'un produit à des rejets polluants qui proviennent du contact de l'eau avec les gaz, les liquides ou les solides. Ces rejets sont continus ou discontinus. Dans l'industrie alimentaire, ces eaux représentent l'essentiel de la pollution organique dissoute [4].

2.4.2. Eaux des circuits de refroidissement

Les eaux des circuits de refroidissement, abondantes et généralement non polluées, car non en contact avec les produits fabriqués, peuvent être recyclées. Elles sont souvent rejetées encore chaudes (30 à 50°C). Si elles ne sont pas à une température incompatible avec un traitement physique (risque de courants de convection dans les décanteurs) ou biologique, elles peuvent être utilisées pour diluer des rejets très concentrés avant le traitement [5].

2.4.3. Eaux de lavage des sols et des machines

Contrairement aux autres rejets, le degré de pollution et le débit des eaux de lavage sont très variables et particulièrement importants à la fin de la semaine et des périodes de travail et au cours des nettoyages. Elles sont chargées de produits divers, matière première ou liqueurs de fabrication, hydrocarbures et huile de machines, produits détergents, produits bactéricides. Parfois, comme c'est souvent le cas dans l'industrie alimentaire, les lavages des appareils sont faits avec des solutions très acides ou très alcalines. Ce qui entraîne de fortes variations de Ph [6].

A noter par ailleurs, les caractères parfois occasionnels de ces rejets qui peuvent correspondre, par exemple, à des fuites accidentelles de produits durant leur manipulation ou leur stockage. Ce sont les plus dangereux et les moins maîtrisables [7].

2.4.4. Les mélanges d'effluents

Les mélanges d'effluents, avant leur traitement est intéressant, surtout lorsqu'il s'agit de deux rejets de qualités complémentaire, par exemple d'un effluent acide et d'un effluent basique [8].

3. Caractéristiques des eaux usées industrielles

Les eaux usées industrielles constituent une menace importante pour l'homme et l'environnement naturel, principalement en raison de la teneur élevée en substances toxiques, en produits chimiques et en métaux lourds, qui ont un effet fondamental sur la modification des propriétés chimiques de l'eau et sont toxiques pour les organismes vivants.

Les caractéristiques spécifiques des eaux usées varient considérablement d'une industrie à l'autre, selon leur composition physique, chimique et biologique. Par conséquent, ce sont celles-ci qui détermineront les techniques de traitement à utiliser pour satisfaire les exigences de rejet de conformité.

3.1. Paramètres de mesure de la pollution

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, parmi ces Paramètres on cite les plus importants [9].

3.1.1. Les paramètres physiques

• Potentiel d'hydrogène (Ph)

Le potentiel d'hydrogène (pH) est la mesure de la concentration des ions H^+ contenus dans l'eau. Il est donné par la formule : $Ph = -\log [H^+]$. Le pH varie entre 0 et 14 ; $Ph=7$ correspondants à la neutralité. Une eau est acide lorsque son pH est inférieur à 7 et alcaline lorsque son pH est supérieur à 7 [10].

• La température

La température agit, comme un facteur physiologique, sur le métabolisme décroissance des microorganismes vivants dans l'eau. Elle joue un rôle important dans la solubilité des sels et surtout des gaz (en particulier l' O_2) dans l'eau, ainsi que la détermination du Ph et la vitesse des réactions chimiques [11].

• Turbidité

La turbidité caractérise le degré de non transparence de l'eau. Elle traduit la présence des matières en suspension (MES) [12].

• La matière en suspension (MES)

Les matières en suspension (MES) sont les matières en phase transitoire dans les stations d'épuration. C'est-à-dire qu'ils ne sont pas sous forme colloïdale ou dissoute. Elles représentent ainsi, la fraction constituée par l'ensemble des particules organiques ou minérales, non dissoutes de la pollution. Elles donnent également à l'eau une apparence trouble, un mauvais goût et une mauvaise odeur [13].

Les MES sont composées en moyenne de 70% de MVS et 30% de MMS [14]. Les MES sont l'indicateur de la turbidité, leur abondance dans l'eau augmente la turbidité [15].

Les matières en suspension contenues dans les eaux résiduaires constituent un paramètre important, qui marque généralement bien le degré de pollution d'un effluent urbain ou industriel. D'autre part, la connaissance de ce paramètre renseigne sur les possibilités épuratoires de certains ouvrages de traitement, décanteurs par exemple, et intervient dans l'évaluation de la production des boues en excès [16].

3.1.2. Les paramètres organoleptiques

• La couleur

La couleur des effluents industriels peut être forte. Cette coloration due à la présence des matières organiques dissoutes ou des colloïdes par des composés chimiques solubles qui sont colorés [11].

• Les odeurs

Les odeurs proviennent généralement des substances volatiles. Un changement anormal ou une apparition d'une odeur sont la caractéristique d'une dégradation de la qualité qui est souvent le précurseur d'une pollution. Les paramètres d'odeurs disposent d'une référence de qualité pour les eaux d'alimentation et les eaux brutes. Les eaux usées industriels (ERI) se caractérisent par une odeur de moisi [17].

3.1.3. Les paramètres chimiques

• Demande biochimique en oxygène (DBO)

La DBO est la concentration, en masse d'oxygène dissous dans l'eau, consommée par les bactéries aérobies sur une certaine période de temps dans les conditions de l'essai [18].

Etant donné qu'environ 50% des polluants sont oxydés par des bactéries en 3 jours et que le processus est généralement terminé après 20 jours, la durée de 5 jours est considérée comme représentative pour la détermination des caractéristiques de la demande biochimique en

oxygène. Ainsi, ce paramètre représente une approximation de la charge en matières organiques biodégradables. Elle est exprimée en milligramme d'O₂ consommés pendant

5 jours dans l'obscurité et à une température de 20°C (conditions d'essai) et est déterminée par la méthode de dilution ou grâce à des méthodes manométriques [19].

L'analyse de la DBO₅ est utilisée pour l'appréciation de la qualité des eaux brutes [19].

• Demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) mesure la quantité équivalente de dioxygène nécessaire à l'oxydation de la majeure partie de la matière organique présente dans l'eau à traiter, mais aussi de certains ions inorganiques oxydables (S⁻², Mn⁺², etc.) [20].

Cette mesure est réalisée avec des réactifs oxydants forts, tel que le Dichromate de Potassium [20].

Cette technique d'analyse permet de mesurer des concentrations allant de 4mg/L d'O₂ jusqu'à 1500 mg/L d'O₂ dans les eaux usées domestiques ou industrielles. [21]. Cet intervalle peut éventuellement être étendu en effectuant une dilution adéquate des échantillons.

En termes de qualité de l'eau, la DCO est particulièrement utile car elle permet de :

- Déterminer l'effet d'un effluent sur le milieu récepteur ;
- Déterminer la demande biochimique en oxygène (DBO).

• Rapports DCO/DBO₅ :

- Le rapport entre DCO et DBO₅ est souvent très différent de celui des eaux résiduaires urbaines (ERU). Il évolue en divers stades du traitement. La valeur de la DCO est toujours plus élevée que celle de la DBO₅ [3].
- Le rapport DCO/DBO₅ est l'indice de la biodégradabilité d'une eau [22].
- Pour qu'une pollution soit dégradable le rapport doit être inférieur à 2,5 [17]. [18].
- Pour les effluents industriels, qui peuvent contenir une fraction notable de composés non biodégradable, on pourra considérer selon le rapport DCO/DBO₅ que l'aptitude à la biodégradation est plus au moins favorable à un traitement biologique, les règles suivantes étant généralement retenues [18].
 - ✓ $DCO/DBO_5 < 3$ effluent facilement biodégradable ;
 - ✓ $3 < DCO/DBO_5 < 5$ effluent moyennement biodégradable ;
 - ✓ $DCO/DBO_5 > 5$ effluent difficilement biodégradable.

•Les composés phosphorés (PO_4^{2-}) :

Le phosphore se trouve principalement sous la forme de phosphate ou PO_4^{3-} (composés phosphatés) dans les eaux naturelles et les eaux usées. Il est naturellement présent dans les cours d'eau, où il est essentiel au développement de tous les organismes vivants.

Le phosphore total Pt est composé de :

- Phosphore organique issu de la décomposition de la matière vivante ;
- Phosphates PO_4 , la partie minéralisée (essentiellement sous forme d'ions ortho phosphate).

Les eaux usées sont majoritairement composées de phosphates PO_4 .

Le phosphore est essentiellement responsable de l'eutrophisation des milieux marins lorsqu'il est présent en grande quantité [23].

•Les composés azotés :

L'azote peut se trouver dans les eaux de rejets sous forme minérale ou organique à différents niveaux d'oxydation ; l'azote ammoniacal (forme réduite), l'azote organique (forme réduite) et l'azote minéral (deux formes oxydées).

Ces différentes formes ainsi que les relations les reliant sont représentées dans la **figure I.1**.

La somme de ces trois formes d'azote, exprimée en mgN.L^{-1} , constitue l'azote global (NGL) [24].

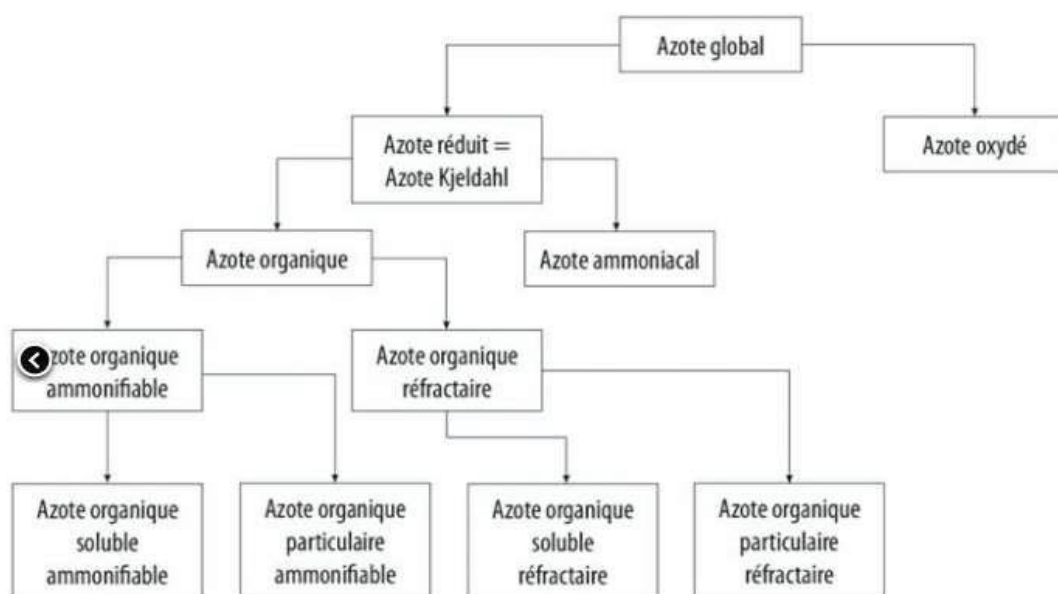


Figure I.1 : Les différentes formes d'azote et les relations entre elles. [24].

•Carbone total organique COT :

Détermine des propriétés variables du carbone organique dissous et particulaire, du carbone organique provenant de substances volatiles et du carbone minéral dissous. Sa mesure est réalisée par un analyseur de CO₂ à infrarouge après combustion catalytique à haute température de l'échantillon.

3.1.4. Autres paramètres :

•Hydrocarbures

La mesure des hydrocarbures dans les ERI constitue une opération souvent délicate. En effet, l'échantillonnage est fréquemment hasardeux, particulièrement lorsque les ERI ne sont pas prélevées dans un réseau sous pression ou quand elles sont très chargées d'huiles.

Par ailleurs, les valeurs obtenues lors du dosage réalisé sur un même échantillon sont selon la méthode utilisée, car celle-ci se rapportent alors à la détection partielle ou totale décomposés différents.

•Micropolluants

Le terme micropolluant désigne un ensemble de substance qui, en raison de leur toxicité, de leur persistance et de leur bioaccumulation sont de nature à engendrer des nuisances même lorsqu'elles sont rejetées en très faibles quantités.

Les principaux micropolluants sont :

✓ Certains métaux lourds et métalloïdes (Cd, Pb, Cr, Cu, ...Hg) : sont les éléments les plus nocifs dans les eaux résiduaires. Les plus abondants, étant de l'ordre de quelques µg/L sont le fer, le zinc, le cuivre et le plomb.

Les autres métaux (manganèse, aluminium, chrome, mercure, arsenic, cadmium, nickel, sélénium, molybdène, etc.) sont présents à l'état de traces [25].

Ceux-ci peuvent provenir de sources naturelles ; telles que les éruptions volcaniques ou les érosions des sols, ou de sources anthropogéniques à travers la production d'énergie par combustion par exemple ou par l'hydrométallurgie. Ils sont considérés comme étant les éléments les plus nocifs dans les eaux résiduaires [18].

✓ Composés phénoliques, organons-halo géniques, organophosphorés, huiles minérales, Hydrocarbures aromatiques polycycliques ;

✓ Certains dérivés nitrés.

4. Caractéristiques des eaux usées par secteur pétrochimique

Les flux d'eaux usées provenant des produits chimiques dérivés du pétrole et du gaz naturel doivent subir un traitement différent et plus pointu avant d'être rejetés dans les eaux de surface ou dans les puits en raison de leur impact environnemental néfaste très élevé. Ces eaux sont le plus souvent chargées en molécules complexes, toxiques et écotoxiques, incluant les détergents, les huiles et les graisses, les colorants, les matières organiques, les métaux et les métaux lourds, les sulfures et dans certains cas de l'ammoniac. Le traitement se doit de respecter les normes définies. Ci-dessous le **tableau I.1** met en évidence respectivement, les branches industrielles, l'origine des principaux effluents polluants, ainsi que les caractéristiques principales des rejets.

Tableau I.1 : Classification des eaux résiduaires industrielles chimiques et de synthèse avec Mise en évidence de l'origine et des caractéristiques principales des effluents rejetés [6].

Industries chimiques et de Synthèse		
Produits phosphatés, acide phosphorique, engrais phosphatés	Lavage, dégrillage et flottation du minerai, superphosphates.	Argiles, limons et huiles, faible Ph, teneur élevée en matières en suspension et produits siliceux et fluorés.
Colorants de synthèse	Colorants aniliques et nitrés.	Eaux fortement acides, phénols, dérivés nitrés, DCO élevée.
Caoutchouc et polymères de synthèse	Lavage du latex, caoutchouc Coagulé, élimination des impuretés du caoutchouc brut et des produits de formulation.	Teneurs élevées en matière en suspension, Ph variable, teneurs élevées en chlorures et DCO.
Insecticides et Pesticides	Produits de lavage et de Purification	Teneur élevée en matières Organiques, benzène, toxiques pour les bactéries et les poissons, acides.
Raffineries et Pétrochimie	Eaux de procédé, dessalage, steam cracking, cracking catalytique, eaux des aires de manutention et de stockage.	Hydrocarbures aliphatiques et aromatiques plus ou moins Émulsifiés, sulfures, matières en suspension, peu de DBO sauf eaux provenant des procédés phénols.
Explosifs	Lavage de trinitrotoluène (TNT) et de coton poudre pour purification.	Couleur, acides, odeurs, teneur en acides organiques en alcools et dérivés cellulosiques, forte DCO.

Synthèses organiques Diverses	Composés chloroacétyléniques, alcools, aldéhydes, esters.	Alcalinité ou acidité élevée, fortes Teneurs en matières organiques.
Produits Photographiques	Solutions usées de révélateurs et de fixateurs.	Alcalinité, différents agents Réducteurs organiques et minéraux, éléments toxiques.

5. Conséquences de la pollution par les eaux usées industrielles

L'augmentation de la population a entraîné une augmentation de la demande de biens qui, à son tour, a provoqué une industrialisation rapide. À son tour, l'augmentation des installations industrielles a entraîné une augmentation de la production de déchets industriels. Ces déchets industriels causent des ravages environnementaux majeurs en polluant l'eau, l'air et le sol. La qualité et la quantité des eaux usées générées dépendent du type d'industrie : elles peuvent contenir des déchets non biodégradables tels que les métaux lourds, les pesticides, le plastique et des composés biodégradables tels que le papier, le cuir, la laine, etc. Les eaux usées industrielles peuvent être toxiques, réactives, cancérigènes ou inflammables. Par conséquent, sans stratégies de traitement et de gestion appropriées, le rejet des déchets dans les plans d'eau peut avoir des effets environnementaux et sanitaires épouvantables.

6. Les normes de rejets

6.1. Normes internationales

L'organisation mondiale de la santé (OMS) a fixé des normes internationales pour les eaux usées, ces normes sont consignées dans le **Tableau I.2** suivant :

Tableau I.2 : Normes de rejet internationales [26].

Caractéristique	Normes
Ph	6,5 – 9,5
DBO ₅	< 30 mg. L ⁻¹
DCO	< 90 mg. L ⁻¹
MES	< 20 mg. L ⁻¹
NH ₄	< 0,5 mg. L ⁻¹
NO ₂	1 mg. L ⁻¹
NO ₃	< 1 mg. L ⁻¹
P ₂ O ₅	< 2mg.L ⁻¹

Température	< 30°C
Couleur	Incolore
Odeur	Incolore

6.2. Normes Européennes

La Directive européenne n° 91-271 du 21/05/1991 relative au traitement des eaux résiduaires urbaines et la protection des milieux aquatiques impose la collecte, le traitement et le rejet des eaux urbaines résiduaires ainsi que le traitement et le rejet des eaux usées provenant de certains secteurs industriels et a pour but de protéger l'environnement contre une détérioration due aux rejets des eaux résiduaires. Les normes fixées par cette directive sont représentées dans le **Tableau I.3.**

Tableau I.3 : Prescriptions relatives aux rejets provenant des stations d'épuration des eaux Urbaines résiduaires en Europe [27].

Paramètre	Niveau (EH)	Concentration Maximale (mg. L-1)	Pourcentage minimal De réduction (%)
DBO5 (à 20°C)		25	70 à 90
DCO		125	75
MES	Plus de 10000	35	90
	2000 à 10000	60	70
Azote	10000 à 100000	15	70 à 80
	Plus de 100000	10	
Phosphore	10000 à 100000	2	80
	Plus de 100000	1	

6.3. Normes Algériennes

La réglementation en vigueur est mise en place par l'application des décrets émis dans le journal officiel de la République Algérienne n°26 paru en date du 23 Avril 2006. (**Tableau I.4).**

Tableau I.4 : Valeurs limites des paramètres de rejets des effluents liquides industriels Algériennes [28].

N ^o	Paramètre	Unité	Valeur limite	Tolérance aux valeurs limite ancienne installation
1	Température	°C	30	30
2	Ph	-	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5
3	Mes	mg. L ⁻¹	35	40
4	Azote kjeldahl	mg. L ⁻¹	30	40
5	Phosphore total	mg. L ⁻¹	10	15
6	DCO	mg. L ⁻¹	120	130
7	DBO ₅	mg. L ⁻¹	35	40
8	Aluminium	mg. L ⁻¹	3	5
9	Substance toxique Bioaccumulable	mg. L ⁻¹	0,005	0,01
10	Cyanure	mg. L ⁻¹	0,1	0,15
11	Fluore et composes	mg. L ⁻¹	15	20
12	Indice de phénol	mg. L ⁻¹	0,3	0,5
13	Hydrocarbure totaux	mg. L ⁻¹	10	15
14	Huiles et graisses	mg. L ⁻¹	20	30
15	Cadmium	mg. L ⁻¹	0,2	0,25
16	Cuivre total	mg. L ⁻¹	0,5	1
17	Mercure totale	mg. L ⁻¹	0,01	0,05
18	Plomb total	mg. L ⁻¹	0,5	0,75
19	Chrome total	mg. L ⁻¹	0,5	0,75
20	Etain total	mg. L ⁻¹	2	2,5
21	Manganèse	mg. L ⁻¹	1	1,5
22	Nickel total	mg. L ⁻¹	0,5	0,75
23	Zinc total	mg. L ⁻¹	3	5
24	Fer	mg. L ⁻¹	3	5
25	Compose organique chlorer	mg. L ⁻¹	5	7

7. Problématique des eaux usées industrielles en Algérie :

La plupart des zones côtières de la Méditerranée abritent des industries chimiques et extractives qui produisent des quantités significatives de déchets industriels (tels que les métaux lourds, les substances chimiques dangereuses et les polluants organiques persistants (POP)) Susceptibles de gagner directement ou indirectement les milieux marins de la Méditerranée.

Ces dernières années, les rejets des eaux usées d'origine urbaine et industrielle ont augmenté dans les oueds. Ceci constitue une menace pour la qualité des ressources en eau dans les barrages. Plusieurs tronçons d'oueds sont déjà pollués (Tafna, Mekerra, Chellif, Soummam et Seybouse). Si le phénomène persiste encore, des retenues de barrages comme Beni Bahdel, Bakhada, Ouizert, Bouhanifia, Fergoug, Oued Lekhel, Hammam Grouz et Oued Harbil seront encore pollués. En plus de ces rejets, le dépôt des sédiments dans les retenues de barrages génère l'eutrophisation des eaux de retenues, entraînant ainsi des déséquilibres écologiques.

Le processus de vieillissement passera une retenue d'un état de faible niveau nutritif (oligotrophique) à un état intermédiaire (mésotrophique), puis à un état de haut niveau nutritif (Eutrophique).

CHAPITRE II :

Les procédées de traitement

des eaux usée

1. Introduction :

Le rejet non traité ou insuffisamment traité des eaux usées dans l'environnement représente un défi crucial pour de nombreuses communautés à travers le monde. Les substances polluantes, incluant des produits chimiques toxiques, des métaux lourds et des agents pathogènes, peuvent provoquer des dommages écologiques à long terme et compromettre la disponibilité d'eau potable. Par conséquent, il est impératif de mettre en œuvre des procédés efficaces de traitement des eaux usées afin de minimiser ces impacts négatifs.

Les procédés de traitement des eaux usées se divisent généralement en plusieurs catégories : physico-chimiques, biologiques et avancés. Les procédés physico-chimiques incluent la décantation, la floculation et filtration, qui permettent de séparer les solides en suspension et certains polluants dissous. Les procédés biologiques, tels que les boues activées et les filtres biologiques, utilisent des micro-organismes pour décomposer les matières organiques présentes dans les eaux usées. Enfin, les procédés avancés, tels que l'osmose inverse et la filtration sur membrane, sont utilisés pour éliminer les contaminants récalcitrants et atteindre des niveaux de purification plus élevés.

2. Les procédées de traitement des eaux usées

La station d'épuration est équipée d'une série de mécanismes dédiés au traitement des eaux usées, chacun étant conçu pour éliminer un ou plusieurs polluants. Son objectif est de réduire au minimum la pollution carbonée [22]. Chaque phase du processus de traitement vise à réduire le niveau de pollution :

- Le prétraitement cible l'élimination des pollutions en suspension telles que les matières en suspension (MES), graisses, l'huile, le sable, les argiles et les gravillons.
- L'épuration physico-chimique se concentre sur l'élimination des pollutions colloïdales (fines MES), des hydrocarbures en émulsion par des processus mécaniques et chimiques.
- L'épuration biologique vise à éliminer les pollutions dissoutes et biodégradables.
- Enfin, l'épuration tertiaire améliore l'élimination de l'azote, du phosphore, des mauvaises odeurs et permet de respecter de rejet (MES, DCO, DBO, pH azote et phosphore) dans les environnements biologiques [29].

3. Importance du traitement des eaux

Les objectifs généraux de la gestion des eaux usées impliquent non seulement l'élimination des polluants, mais aussi la protection et la préservation de nos ressources naturelles [30]. En raison de leur forte toxicité biologique, qu'elles proviennent du secteur municipal ou industriel, les eaux usées doivent subir un traitement dans des stations d'épuration avant d'être déversées dans le milieu récepteur. Les industries qui rejettent leurs eaux dans les réseaux municipaux ou les cours d'eau doivent se conformer aux réglementations sur les rejets afin d'éviter des amendes. Ainsi, dans de nombreux cas, un traitement final à la sortie des canalisations est nécessaire avant le rejet. Toutefois, dans certaines situations, les entreprises peuvent juger plus économique de payer des amendes plutôt que d'investir dans des installations de traitement pour se conformer aux normes réglementaires [2]. Ce qui entraîne des conséquences néfastes pour l'environnement.

4. Les étapes de traitement des eaux usées

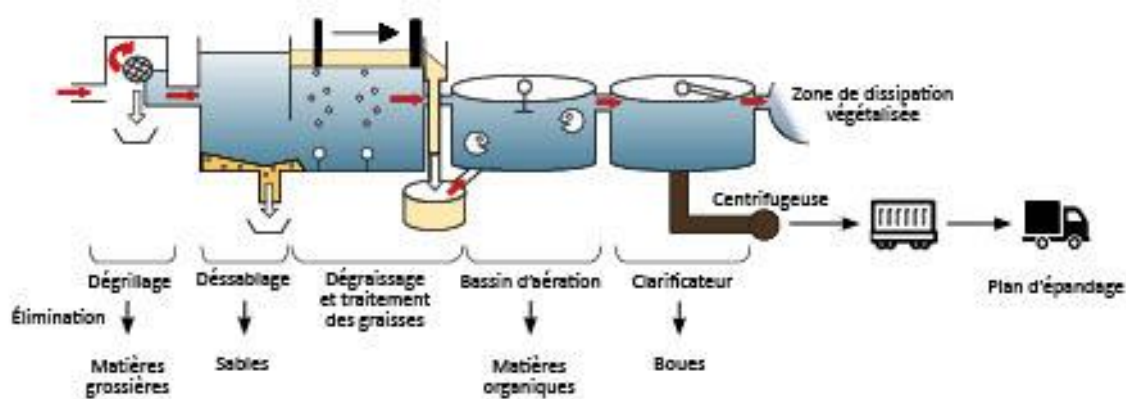


Figure II.1 : Schéma générale de différent traitement des eaux usées.

4.1. Le prétraitement des eaux

Le prétraitement est un l'ensemble d'opérations physiques et mécaniques destinées à extraire de l'eau brute. Ils ont pour objectif d'éliminer les éléments les plus grossiers qui sont susceptibles de gêner les traitements ultérieurs. S'il s'agit de déchets volumineux (dégrillage), des sables et graviers (dessablage) et des graisses (dégraissage-déshuilage) [20].

4.1.1. Dégrillage

Le dégrillage est une opération indispensable pour éliminer de gros objets susceptibles de gêner le fonctionnement des procédés situés en aval. Il permet de séparer et d'évacuer les matières

volumineuses, amenées par l'effluent à traiter. L'efficacité de ce traitement dépend essentiellement de l'écartement des barreaux des grilles qui sont de trois types :

- Dégrillage fin (écartement 3 à 10 mm) ;
- Dégrillage moyenne (écartement 10 à 25 mm) ;
- Dégrillage grossier (écartement 50 à 100 mm) [31].

4.1.2. Dessablage

Le dessablage consiste en l'élimination des sables présents dans l'effluent brute pour éviter leur dépôt dans les canalisations induisant leur bouchage et permet de réduire la production des boues et d'éviter de perturber les autres étapes de traitement, en particulier, le réacteur biologique [32].

4.1.3. Déshuilage et dégraissage

Le déshuilage est une opération de séparation liquide-liquide, alors que le dégraissage est une opération de séparation solide-liquide (à la condition que la température de l'eau soit suffisamment basse, pour permettre de figer les graisses). Ces deux procédés visent à éliminer la présence des corps gras dans les eaux usées, qui peuvent gêner l'efficacité du traitement biologique qui intervient par la suite [33]. La rétention environ 80% de la matière grasse lorsque la température est inférieure à 30°C [34].

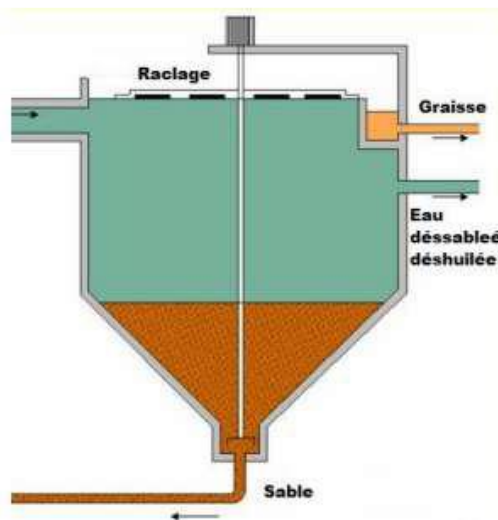


Figure II.2 : Schéma représentatif d'un dessableur-déshuileur [34].

4.2. Traitement primaire

4.2.1. Coagulation-floculation

Les processus de coagulation des eaux usées sont similaires à ceux qui se produisent lors du traitement de l'eau potable, ils consistent à déstabiliser les charges des particules présentes. En général, des coagulants de charges opposées à celles des solides en suspension sont ajoutés à l'eau pour neutraliser les charges négatives sur les solides dispersés non durcis tels que l'argile et les substances organiques. Une fois la charge neutralisée, les petites particules en suspension sont capables de s'agglutiner. Les particules légèrement plus grosses formées par ce processus sont appelées « micro flocs » et sont encore trop petites pour être visibles à l'œil nu. Un mélange rapide à haute énergie pour disperser correctement le coagulant et favoriser les collisions de particules est nécessaire pour obtenir une bonne coagulation et la formation des micro flocs qui décantent par gravitation [35]. [36]. Un mélange excessif n'affecte pas la coagulation, mais un mélange insuffisant laissera cette étape incomplète.

Le processus de coagulation permet d'obtenir un effet de purification significatif (réduction de la DBO 5 à 85 % et des solides en suspension à 90 %). Cependant, une grande quantité de sédiments s'y forme. La méthode est le plus souvent utilisée dans le traitement des eaux usées dans les industries du textile, du tannage et de la chimie.

L'étape de floculation, suit celle de la coagulation, celle-ci est une étape de mélange lent qui permettra d'augmenter la taille des particules de micro flocs au microscopique pour évoluer vers des particules en suspension visibles. Les collisions des particules de micro floc les amènent à se lier pour produire des flocs plus grands et visibles.

Une fois que le floc a atteint sa taille et sa force optimales, l'eau est prête pour le processus de séparation (sédimentation, flottation ou filtration).

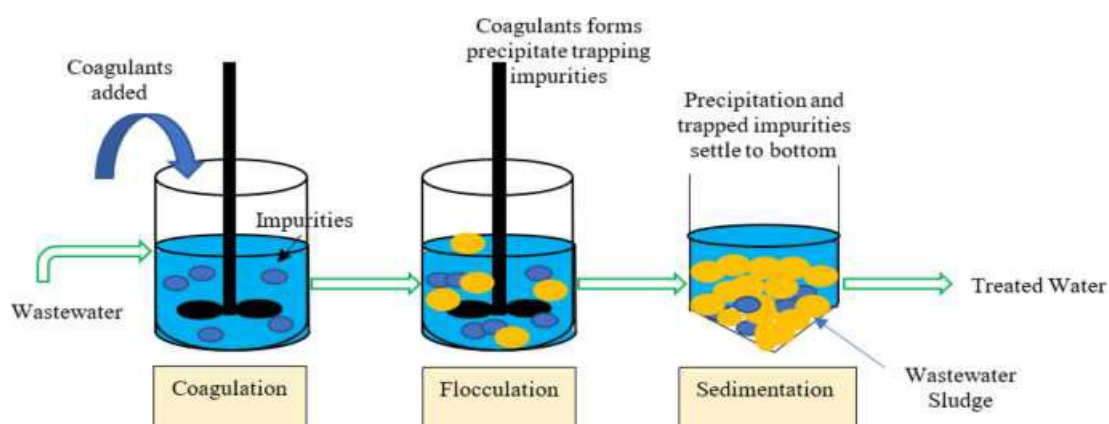


Figure II.3 : Schéma expliquant le processus de coagulation-floculation [37].

4.2.2. La décantation :

La décantation est utilisée dans pratiquement toutes les usines d'épuration de traitement des eaux. C'est un procédé de séparation de MES 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, d'où on les extrait périodiquement. L'eau récoltée surface est dite clarifiée et est dirigée vers un autre stade d'épuration.

L'efficacité du traitement dépend du temps de séjour et de la vitesse ascensionnelle [38].

4.2.3. La filtration

L'effluent clarifié est poli dans cette étape en filtrant à travers un média polyester de 10 microns. La matière capturée à la surface des filtres à disques est périodiquement lavée à contre-courant et renvoyée à la tête de l'usine pour traitement. La filtration permet donc d'obtenir une bonne élimination de bactéries, de la couleur et de la turbidité. [35].

Les procédés de coagulation, floculation, décantation et filtration sont souvent combinés dans Un même ouvrage (**Figure II.4**).

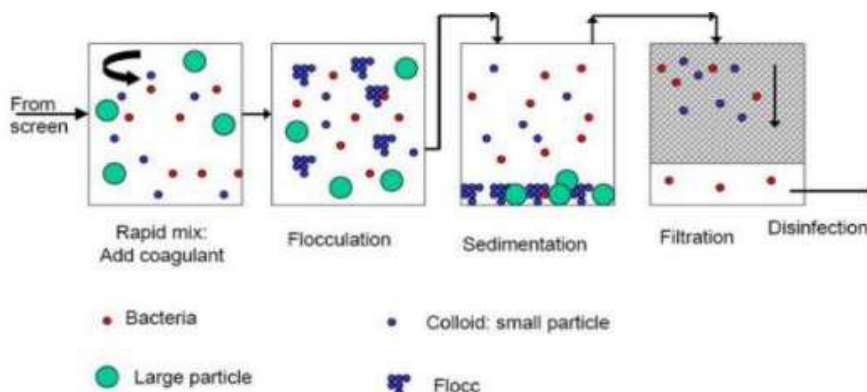


Figure II.4: Schéma de coagulation floculation suivis d'une décantation et une filtration [39].

4.3. Le traitement secondaire

Les eaux usées contenant des composés organiques disponibles pour l'action active des microorganismes sont traitées par des méthodes biologiques. Les bases du traitement biologique des eaux usées reposent sur les processus d'autoépuration de l'eau et du sol dans la nature.

Suivant les conditions de l'environnement des cellules dans l'unité de dépollution, on distingue deux modes de traitement :

4.3.1. Le traitement biologique 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 [40].

Ce système est davantage utilisé pour le traitement des effluents urbains, que pour le traitement des effluents industriels généralement toxiques pour les bactéries [41].

4.3.2. Le traitement biologique aérobie

Ce type de traitement fait appel aux bactéries aérobies qui se développent en présence d'oxygène. La décomposition microbienne des polluants est effectuée par des réactions d'oxydation dans un milieu aéré. De ce processus, résulte des composés minéraux simples tels que le dioxyde de carbone et l'eau [40].

4.3.3. Les systèmes à boues activées

Le traitement des eaux usées avec des boues activées dans des conditions aérobies est l'une des technologies les plus couramment utilisées [42]. Ce processus consiste à créer des floccs dans le volume d'eaux usées avec une surface très fortement développée. Les polluants organiques sont absorbés à la surface des floccs et minéralisés grâce aux processus métaboliques en cours dans les micro-organismes. Les bactéries présentes dans les boues activées produisent des enzymes qui catalysent la série de réactions biochimiques, entraînant la décomposition de composés inorganiques et organiques dans les eaux usées. A l'aval de ce traitement, un clarificateur (ou décanteur secondaire) permet l'isolation des boues (**Figure II.6**).

Les boues en excès sont déshydratées et séchées, le liquide est déversé dans des récepteurs, tels que des étangs à poissons, puis déversées dans des cours d'eau naturels.

La formation de boues activées dans la chambre d'aération prend du temps. Afin de raccourcir ce temps, il est possible de greffer les boues en y ajoutant une certaine quantité provenant des eaux usées préalablement traitées. Le maintien constant des floccs en suspension nécessite une agitation vigoureuse du contenu du réacteur [43].

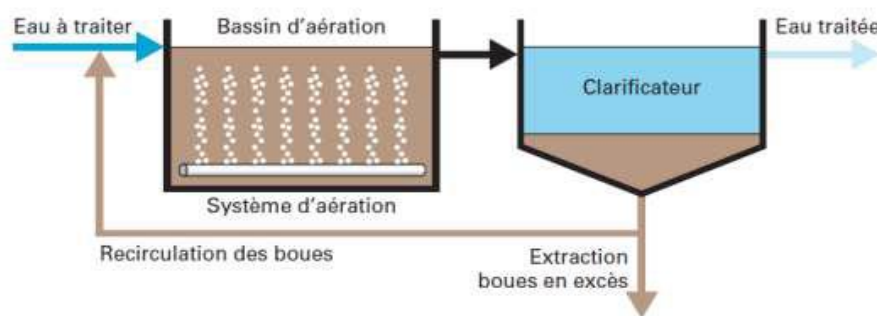


Figure II.6 : Schéma simplifié d'un système à boues activées [44].

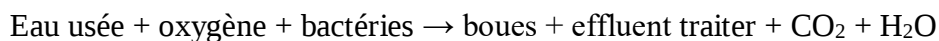
4.3.4. Les lits bactériens

Ce procédé aérobie à cultures fixées consiste à faire supporter les micro-organismes par des Matériaux poreux. Ainsi, un lit bactérien est simplement un réservoir rempli d'un lit profond De pierres. Les eaux usées décantées sont pulvérisées en continu sur le dessus des pierres et Ruissellent vers le bas, où elles sont collectées pour un traitement ultérieur. Au fur et à mesure que les eaux usées ruissellent, les bactéries se rassemblent et se multiplient sur le matériau. Le flux constant d'eaux usées sur ces excroissances permet aux microbes d'absorber les matières organiques dissoutes, réduisant ainsi la demande biochimique en oxygène (DBO) des eaux usées. L'air circulant vers le haut à travers les espaces entre les pierres fournit suffisamment d'oxygène pour les processus métaboliques.

4.3.5. Le lagunage

La technique du lagunage est une technique biologique de traitement naturel, qui consiste à accumuler les eaux usées dans des bassins, appelés bassins biologiques ou bassin déstabilisation, où des phénomènes naturels de dégradation font intervenir la biomasse qui transforme la matière organique.

Les mécanismes de l'épuration et le fonctionnement d'un lagunage simple peuvent être décrits par la réaction (II.1) [45] :



4.4. Le traitement tertiaire

Appelés aussi traitements complémentaires qui visent l'élimination de la pollution azotée et phosphatée, ainsi que la pollution biologique des eaux usées, ayant déjà subi des traitements primaires et secondaires, afin d'améliorer la qualité générale de l'eau. Les traitements tertiaires s'imposent et deviennent plus que nécessaires pour assurer une protection complémentaire de

l'environnement récepteur ou une réutilisation de l'effluent en agriculture ou en industrie [16].

Parmi les traitements existants, nous pouvons citer [33] :

4.4.1. La désinfection

Elle est nécessaire lorsque les eaux usées traitées sont rejetées dans un milieu aquatique à usage balnéaire (plages, zones d'activités nautiques ou touristiques).

4.4.2. Les traitements de finition

Pour certains usages, il est conseillé d'atteindre des concentrations très basses en MES, DCO, DBO, azote et phosphore.

4.4.3. Le traitement sur charbon actif

Le traitement sur charbon actif peut être intéressant pour certaines molécules résistantes aux traitements biologiques, bien souvent lorsque la STEP accueille des eaux industrielles. Ils permettent par exemple d'enlever la couleur de l'effluent.

5. Généralité sur l'adsorption

5.1. Définition

L'adsorption est un phénomène d'interface, pouvant se manifester entre un solide et un gaz ou un liquide. Le phénomène est général pour toutes les surfaces mais on cherche à l'exploiter en employant des solides à porosité élevée. Nous limiterons cette étude à l'adsorption solide/liquide, car elle concerne notre travail. Le support solide est l'adsorbant, tandis que le composé fixé est appelé adsorbât. L'interaction entre l'adsorbât et l'adsorbant met en jeu des forces de natures différentes de type physique et/ou chimique.

5.2. Types d'adsorption

La nature des liens entre l'adsorbant et la substance adsorbée, et la grandeur de

L'énergie mise en jeu ont permis de distinguer deux types d'adsorption. [46].

5.2.1. Adsorption physique

Dans la physio sorption, il n'y a pas de transfert d'électrons. Elle n'est pas spécifique et peut être multicouche. L'adsorption physique est généralement réversible car l'énergie mise en cause est faible, (de l'ordre de quelques kilocalories par mole). Les forces impliquées sont des forces d'attraction de type VAN DER WALLS [46].

5.2.2. Adsorption chimique

Elle correspond à la création de véritables liaisons chimiques par le transfert électronique

Entre les molécules de l'interface des deux phases. Ces liaisons sont de type covalent, mais

Elles peuvent être légèrement polarisées.

Les énergies mises en jeu sont plus grandes que dans le cas de physio sorption. Ce type D'adsorption spécifique n'apparaît le plus souvent qu'à des températures assez élevées et ne Devient réversible qu'à des températures encore plus élevées. [46].

5.3. Description du mécanisme d'adsorption

Le mécanisme d'adsorption peut être décomposé en plusieurs étapes :

- ✓ 1 étape (la diffusion externe) : le transfert des molécules de soluté de la phase liquide externe vers la phase liquide liée à la particule solide (par diffusion et par convection)
- ✓ 2^{eme} étape (la diffusion interne) : le transfert du soluté à travers le film liquide vers la surface externe de l'adsorbant.
- ✓ 3^{eme} étape la diffusion de l'adsorbat à l'intérieur de la particule de l'adsorbant sous l'effet du gradient de concentration.
- ✓ 4^{eme} étape : l'adsorption dans un micropore. [46].

Tableau II.1 : Les différences entre l'Adsorption physique et chimique [47].

Propriétés	Adsorption physique	Adsorption chimique
Température du processus	Relativement basse à la Température d'ébullition de L'adsorbât	Plus élevée
Chaleur d'adsorption	1 à 10 kcal/mol	Supérieur à 10 kcal/mol
Liaison	Physique de Van Der Waals	Chimique
Spécificité	Processus non spécifique	Processus spécifique
Désorption	Facile	Difficile
Cinétique	Rapide	Lente
Formation de couches	Formation de multicouches	Formation de Monocouche

5.4. Equilibre d'adsorption

Pour décrire les performances d'un système adsorbât/adsorbant, des modèles théoriques et empiriques ont été développés, décrivant la relation entre la masse d'adsorbât fixée à l'équilibre et la concentration sous laquelle elle a lieu, à température constante.

Il s'agit d'isotherme d'adsorption.

Une isotherme est donc une courbe qui représente la variation de la quantité de soluté adsorbée par unité de masse d'adsorbant en fonction de la concentration à l'équilibre C_e .

Les trois isothermes les plus connues sont celles de Langmuir, de Freundlich et de Brunauer-Emmett-Teller (BET). [46].

5.4.1. Isotherme d'adsorption de Langmuir

L'équation de Langmuir suppose que l'adsorption a lieu sur des sites de même énergie et qu'il n'y a pas d'interaction entre les molécules adsorbées.

Elle est applicable à l'adsorption mono moléculaire et s'exprime par (II.1) :

$$q = \frac{x}{m} = q_m * \frac{b.C_e}{1+b.C_e}$$

Où :

q : quantité de soluté adsorbée par unité de masse de l'adsorbant à l'équilibre (mg/g).

q_m : capacité d'adsorption ultime (mg/g).

C_e : concentration du soluté dans la phase liquide à l'équilibre (mg/l).

b : constante de Langmuir. [46].

La linéarisation de l'équation de Langmuir donnée permet de déduire la capacité ultime q_m et la constante de dissociation K_d égale à 1/b.

5.4.2. Isotherme de Freundlich

L'isotherme d'adsorption de Freundlich, présentée en 1926, repose sur l'équation empirique suivante (II.2) :

$$q = K.C_e^{1/n}$$

K, n : constantes expérimentales qui dépendent respectivement de la nature de l'adsorbât et de l'adsorbant.

Cette isotherme est une isotherme empirique qui, contrairement à celle de Langmuir, Tient compte de l'inégalité d'énergie d'adsorption des différents sites. [47].

5.4.3. Isotherme de B.E.T

L'isotherme de B.E.T, proposée en 1938, repose sur les hypothèses ci-dessous

a- Plusieurs couches successives de molécules peuvent être fixées sur l'adsorbant.

b- Les sites d'adsorption sont distribués uniformément à la surface de l'adsorbant.

c- Chaque site est indépendant des sites voisins.

d- L'énergie d'adsorption retient la première couche de molécule, alors que l'énergie décondensation retient les couches successives suivantes. [46].

L'équation de l'isotherme d'adsorption de B.E.T est la suivante (II.3) :

$$q = \frac{A \cdot C_e \cdot Q_m}{(C_s - C_e) * [1 + (A - 1) \cdot C_e / C_s]}$$

Où :

Q_m : capacité ultime d'adsorption (mg/g).

C_e : concentration du soluté dans la phase liquide à l'équilibre (mg/l).

C_s : concentration de la matière dissoute à l'état de saturation (mg/l).

A : constante liée à l'énergie d'interaction avec la surface.

5.5. Facture influençant l'adsorption

• Température

L'adsorption physique s'effectue à des basses températures (phénomène exothermique), alors que l'adsorption chimique demande des températures plus élevées (phénomène endothermique). Ce qui nécessite de fixer la température du processus dès le départ. [47].

• Ph

Le pH joue un rôle crucial dans toute analyse d'adsorption, car il peut influencer à la fois la structure de l'adsorbant et de l'adsorbat, ainsi que le mécanisme d'adsorption. Cette variable dépend de la source des eaux à traiter et des procédés utilisés pour leur traitement (coagulation, floculation, oxydation, etc.). Par conséquent, il est pertinent d'évaluer l'efficacité de l'adsorption à différentes valeurs de Ph.

• Masse de l'adsorbant

Plus la quantité d'adsorbant présente dans la solution est élevée, plus sa capacité d'adsorption est importante. Étant donné le coût élevé des adsorbants, il est conseillé de sélectionner un rapport liquide-solide optimal.

• Solubilité de l'adsorbat

La solubilité de l'adsorbat est un facteur crucial dans le processus d'adsorption. Une solubilité plus élevée entraîne généralement une adsorption moins importante. Des études ont révélé que les capacités d'adsorption sont inversement proportionnelles aux solubilités.

• Structure moléculaire de l'adsorbat

À mesure que la taille des particules à retenir augmentent, le remplissage des pores s'effectue plus rapidement et la saturation est atteinte avec des rendements moindres. Cela entraîne une diminution du nombre de sites disponibles pour d'autres molécules.

• Masse moléculaire de l'adsorbat

À mesure que la taille des particules à retenir augmentent, le remplissage des pores s'effectue plus rapidement et la saturation est atteinte avec des rendements moindres. Cela entraîne une diminution du nombre de sites disponibles pour d'autres molécules.

5.6. Les adsorbants

Divers matériaux sont employés dans le traitement de l'eau : alumine (Al_2O_3), gel de silice, terre de Fuller, terre à diatomées, tamis moléculaire, résines à micropores, résines échangeuses d'ions, dioxyde de manganèse et même des "flocs de sulfate d'aluminium" et de la silice activée. Toutefois, parmi tous ces éléments, le charbon actif se distingue comme le plus adsorbant.

6. Généralité sur Oxydation avancé

Le terme POA se réfère à un ensemble des procédés d'oxydation, caractérisé par une utilisation commune des radicaux $\text{OH}^\bullet$ pour détruire les composés organiques complexes et non biodégradables en produits finis à l'état ultime. [48].

6.1. Les POA incluent plusieurs procédés : [49].

6.1.1. Procédés d'oxydation chimiques

Impliquant les réactifs suivants :

- ✓ Réactif de Fenton ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe (II)}$) ;
- ✓ Peroxonation ($\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$) ; etc.

6.1.2. Des procédés photo chimique

En distingue deux phases et pour chaque phase on a :

A/En phase homogène :

- ✓ Photolyse direct (UV seul) ;
- ✓ Photolyse de H_2O_2 ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$) ;
- ✓ Photolyse de l'ozone (O_3/UV) ;
- ✓ Photo-Fenton ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}/\text{UV}$).

B/En phase hétérogène :

Photo catalyse hétérogène (TiO₂/UV), etc.

6.1.3. Des procédés électrochimiques :

Ce procédé se divise en deux types :

A/Directs :

- ✓ Oxydation anodique,

B/Indirects :

- ✓ Électro-fenton

6.1.4. Des procédés électriques :

On trouve :

- ✓ Sono-lyse,
- ✓ Faisceau d'électron, etc.

Plusieurs paramètres peuvent influencer sur l'efficacité des procédés, on peut citer :

- La concentration en oxydant,
- L'intensité de la lumière UV,
- Le pH,
- La température, etc.

6.2. Les procédés d'oxydation avancée cités fréquemment dans la littérature sont :

6.2.1. Procédé Fenton (H₂O₂/Fe)

Traitement chimique par réactif de Fenton est une technique qui consiste à initier des réactions de décomposition du peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) par les ions ferreux (Fe²⁺) à pH acide (2,8 à 3), en vue de générer le radical hydroxyle (OH[•]). [50]. [51].



6.2.2. Procédés chimiques peroxonation (H₂O₂/O₃)

Le principe du procédé de peroxonation repose sur le couplage entre l'ozonée le peroxyde d'hydrogène afin de produire des radicaux libres [52]. Ce procédé est plus efficace que l'ozonation seule, car le peroxyde d'hydrogène a pour but d'accélérer la décomposition de l'ozone dans l'eau et ainsi produire beaucoup plus de radicaux hydroxyles. [53].

6.2.3. Photocatalyse hétérogène

Cette technique repose sur l'activation d'un semi-conducteur par la lumière et la création de paires électrons/trous par absorption d'un photon d'énergie supérieure ou égale à celle de la bande interdite du semi-conducteur. [54].

Le dioxyde de titane (TiO_2) est la photo catalyseur le plus utilisé en traitement d'eau résiduaire industrielle, en raison de la faible énergie nécessaire à son activation ($E_{\text{act}} = 3,2 \text{ eV}$) (J C.) [55].

6.2.4. Electro-Fenton

Cette méthode est basée sur la production in situ du Fe^{2+} et/ou H_2O_2 dans le milieu par réduction à deux électrons de l'oxygène moléculaire sur une cathode de graphite, carbone vitreux réticulé, nappe de mercure ou cathodes à diffusion d'oxygène [56]. Son efficacité dépend de nombreuses variables et paramètres comme le pH, l'intensité du courant, la nature de l'électrolyte, le rapport $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$, etc. [51]. [57].

6.3. Les avantages et les inconvénients des procédés d'oxydation avancée

Les POA offrent de nombreux avantages [48]. [57]. [58]. En comparaison avec les autres procédés biologiques ou physico-chimiques conventionnels ainsi quelques avantages et inconvénients sont résumés comme suit :

6.3.1. Les avantage

- ✓ En général, il est possible d'atteindre une minéralisation totale du polluant, contrairement aux technologies conventionnelles (principalement biologiques), qui n'arrivent pas à oxyder complètement la matière organique (sans utiliser de puissants oxydants) ;
- ✓ Ils ne produisent pas des boues qui requièrent un traitement additionnel ;
- ✓ Dans beaucoup de cas, ils consomment moins d'énergie que d'autres méthodes (par exemple, l'incinération) ;
- ✓ Ils permettent de transformer des polluants réfractaires en produits biodégradables qui peuvent ensuite être traités par des méthodes plus économiques, comme les traitements biologiques.

6.3.2. Les inconvénients

- ✓ Problème économique : couts d'investissement et de fonctionnement/de maintenance relativement élevée ;
- ✓ Non adapté au traitement de grands volumes ;
- ✓ L'élimination du peroxyde résiduel peut de voir être envisagée.

CHAPITRE III :

Matériels et méthodes

1. Présentation du centre AVM AC4 d'El Harrach

Le Centre Aviation AC4 d'El Harrach se situe environ à 1.5 Km au sud du centre-ville d'El-Harrach bordant la route communale menant vers l'hôpital ZMIRLI Salim, longeant le pont reliant la ville d'El-Harrach à la Zone Industrielle, qui débouche vers l'autoroute sud-ouest qui est distante de 10 Kms de la capitale.

Le centre AVM AC4 El Harrach occupe une superficie globale de 15 500 m², délimité comme Suit :

- ✓ A l'Ouest par l'Oued El Harrach ;
- ✓ A l'Est : par une route communale et le pont reliant la ville d'El-Harrach à la zone industrielle ;
- ✓ Au nord par la voie ferrée de la SNTF passant par la clôture nord ;
- ✓ Au sud par une clôture mitoyenne avec le centre Enfuter GPL CE 162. [59]

La situation géographique de l'établissement est résumée par le Tableau suivant :

Tableau III.1. : Localisation du centre AVM AC4 El Harrach.

Établissement	Centre AVM AC4	
Administration tutelle	Commune	EL HARRACH
	Daïra	EL HARRACH
	Wilaya	Alger
Coordonnées géographiques	Latitude	36°42'46.7"Nord
	Longitude	3°08'01.6" Est
Superficie	Superficie totale	15500 m ²
	Superficie bâtie	1438 m ²
Altitude	10-20 m	
Implantation	A 10 Km à l'Ouest de la ville d'Alger	



Figure III.1 : Plan de situation des centres AVM AC4.

2. Objectifs stratégiques HSE

- Le respect et la mise en conformité par rapport aux obligations légales ;
- La maîtrise des risques HSE ;
- Le développement des compétences HSE ;
- L'amélioration des conditions de travail du personnel ;
- La protection des riverains contre les risques inhérents aux activités de l'entreprise ;
- La réduction des déchets ;
- La réhabilitation des sites pollués ;
- La mise à niveau technologique.

La préservation de l'environnement constitue une préoccupation majeure pour NAFTAL, qui découle des engagements nationaux et internationaux pris à cet égard.

Soucieuse du respect de la réglementation nationale dans ce domaine, NAFTAL s'est engagée à :

- Lutter contre les changements climatiques et à contribuer à l'amélioration de la qualité de l'air,
- Gérer les déchets issus de la commercialisation de nos produits et procéder à leur élimination ou réduction,
- Procéder à la récupération des huiles usagées au niveau de ses points de vente ;
- Préserver les eaux superficielles et souterraines,
- Rationaliser les besoins en énergie,

- Rejeter une eau conforme aux seuils réglementaires.
- Eviter la pollution du sol et sous-sol.

3. Paramètres NAFTAL

Le **Tableau III.2.** Présente, selon le décret exécutif n° 06-141 du 19 avril 2006, les valeurs limitent des paramètres d'effluents liquides industriels sur lesquels NAFTAL se base dans ses analyses :

Tableau III.2 : Valeurs limites des paramètres de rejet d'effluents liquides industriels.

Paramètres	Unité	Valeurs limites	Tolérance aux valeurs Limites (anciennes installations)
Débit d'eau	m³/t	1	1.2
Température	°C	30	3.5
PH	-	5.5-8.5	5.5-8.5
DBO ₅	mg/l	25	30
DCO	mg/l	100	120
MES	mg/l	25	30
Azote total	mg/l	20	25
Huiles et graisses	mg/l	15	20
Phénol	mg/l	0.25	0.5
Hydrocarbures	mg/l	5	10
Plomb	mg/l	0.5	1
Chrome 3+	mg/l	0.05	0.3
Chrome 6+	mg/l	1	0.5

4. La station de traitement de NAFTAL

La Contamination de l'eau par les hydrocarbures liquides est une des formes les plus graves de la pollution de l'environnement marin et ce, bien entendu à travers plusieurs récepteurs intermédiaires à savoir, le réseau d'assainissement et les cours d'eaux. La pollution par les hydrocarbures des différents milieux récepteurs (sols, sous-sols et eau) constitue une

problématique de taille dont l'impact sur l'environnement est préjudiciable à plus d'un titre en raison de sa persistance dans le temps (difficilement biodégradable).

Actuellement au niveau des structures opérationnelles NAFTAL, on repère deux dispositifs de traitement d'effluents liquides industriels soit un séparateur Eau/Hydrocarbures de classe II ou une unité de traitement doté d'un séparateur Eau/Hydrocarbure de classe I.

4. 1. Séparateur E/HC de classe I (avec filtre coalesceur) :

Il s'agit des séparateurs Eau/HC dans lesquels sont ajoutées des lamelles coalescentes ayant pour fonction d'agglomérer les gouttelettes les plus fines (Diamètre < 150 microns)

(**Figure III.2**). Ce type de séparateur assure l'obtention d'une teneur en Hydrocarbures totaux inférieure à 10 ppm.



Figure III.2 : Séparateur E/HC de classe I.

4. 2. Séparateur E/HC de classe II (sans filtre coalesceur)

Il s'agit généralement d'un ouvrage rectangulaire conçu en génie civil et divisé en trois compartiments (**Figure III.3**). Ce type de séparateur assure l'obtention d'une teneur en Hydrocarbures totaux inférieure à 10 ppm.

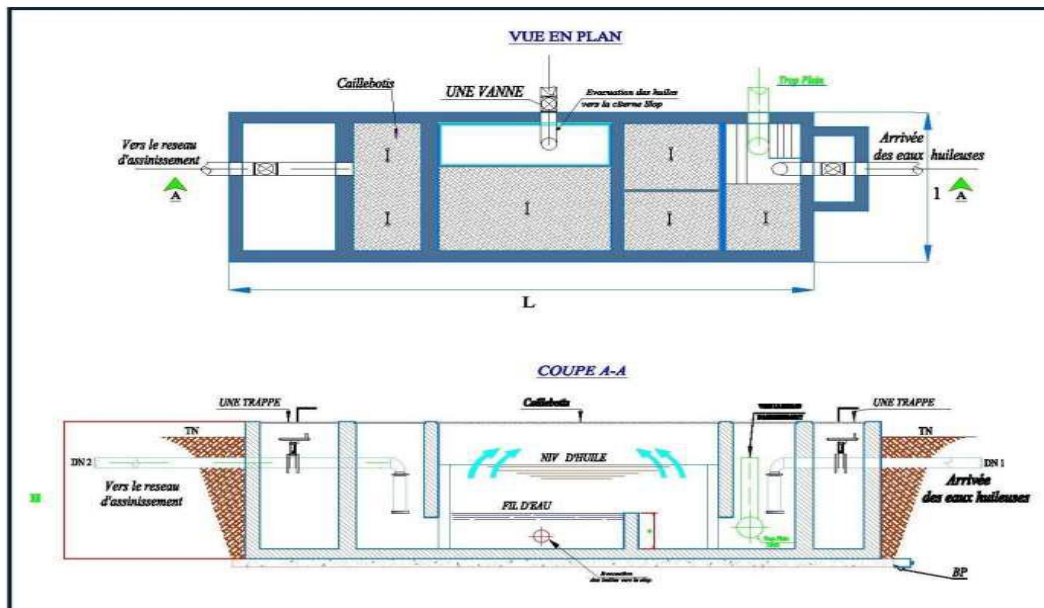


Figure III.3 : Plan du séparateur E/HC de classe II.

5. Protocole expérimentale utilisé

5.1. Paramètre à analyser

5.1.1. La température (T) et le potentiel d'hydrogène (Ph)

La température est mesurée avec un pH mètre pour mesure en profondeur avec une sonde de Température intégrée TA 197-PH-WTW.

❖ Mode opératoire :

- Mettre l'appareil sous tension
- Rincer l'électrode avec l'eau distillée et la plonger dans l'échantillon d'eau à mesurer
- Lancer la mesure avec la touche RUN ENTER
- Attendre que la valeur se stabilise
- Lire la mesure



Figure III.4 : pH mètre.

5.1.2. Détermination de la turbidité

Le turbidimètre que nous avons utilisé est de type (HACH 2100N AN IS TURBIDIMETER). Nous avons réalisé les mesures dans des cellules spéciales.

- ✓ On remplit la cellule à la ligne (environ 15 ml).
- ✓ On essuyé la cellule avec le morceau tissu pour enlever les traces d'eau et les empreintes.
- ✓ On pressé le bouton I/O pour allumer le turbidimètre et placer la cellule.
- ✓ On pressé le bouton « READ »
- ✓ La turbidité est exprimée en NTU, lire la valeur après l'extinction du symbole de la Lampe.



Figure III.5 : Turbidité-mètre

5.1.3. Mesure de la conductivité électrique NE EN27888 /Norme ISO 7888

La conductivité électrique est une mesure de courant conduite par les ions présente dans l'eau.

La détermination se fait directement à l'aide de conductimètre HACH HQ430d. Nous avons procédé comme suit :

- Allumer le conductimètre et rincer de plusieurs fois de la sonde du conductimètre avec de l'eau distillée
- prendre une quantité suffisante d'eau à analyse dans un bécher
- mettre l'électrode dans un bécher, laisse stabiliser puis noter la valeur la valeur de la conductivité.

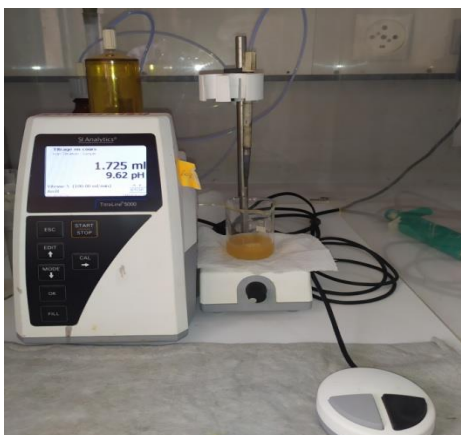


Figure III.6 : TITRATEUR TITROLINE 5000 (conductimètre)

5.1.4. Les matières en suspension (MES)

❖ Principe

L'analyse se fera selon le principe de la filtration sur filtre en fibre de verre. À l'aide d'un appareil de filtration sous vide ou sous pression, l'échantillon est filtré sur un filtre en fibre de verre. Le filtre est ensuite séché à 105 °C pendant 2h et la masse du résidu retenu sur le filtre est déterminée par pesée.

❖ Mode opératoire

- Sécher convenablement les filtres à l'aide d'une étuve à 105°C pendant 10 à 15 min.
- Peser les filtres à l'aide d'une balance analytique, éviter soigneusement de contaminer le filtre par des poussières, en utilisant un dessiccateur.
- Placer les filtres dans l'entonnoir du système de filtration et le connecter à un dispositif d'aspiration sous vide (sous pression)
- Agiter vigoureusement le flacon et transférer un volume déterminé de l'échantillon dans une éprouvette graduée (1 L).
- Filtrer l'échantillon.

- Rincer l'éprouvette avec l'eau distillée, on utilise cette portion pour laver le filtre et le système de filtration, si l'eau est très chargée.
- Libérer le dispositif sous vide lorsque le filtre est pratiquement sec et on le retire avec précaution de l'entonnoir à l'aide d'une pince.
- Placer le filtre sur un verre de montre et, sécher dans l'étuve pendant 2h de Temps à 105 °C.
- Après le séchage, retirer le filtre de l'étuve et peser.
- Calculer la quantité des matières en suspension selon la formule suivante (III.1) :

$$X = \frac{m - m_0}{V} \times 1000$$

X : la quantité de MES en mg/l.

m : masse de filtre après filtration en mg.

m₀ : masse de filtre avant filtration en mg.

V : volume de l'échantillon filtré.

Tableau III.3 : Matériels et les réactifs utilisés pour mesurer les MES.

Matériels utilisées	Réactifs
Equipement de filtration sous vide I Balance de précision. Etuve. Filtre en fibre de verre 74 mm (degré de filtration 25 µm).	Ce protocole de Détermination n'utilise pas de réactifs.

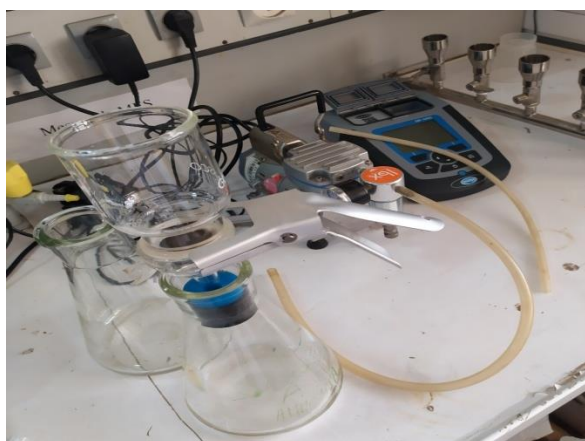


Figure III.7 : appareil de filtration sous Vide ou sous pression



Figure III.8: Étuve



Figure III.9 : Dessiccateur

5.1.5. La demande biologique en oxygène (DBO5)

❖ Principe

La mesure de la quantité d'oxygène dissous se fera par la méthode électrochimique. Il faudra Alors remplir les flacons DBO avec les échantillons dilués a ras et éviter les bulles d'air dans les parois des flacons, ensuite mesurer la concentration d'oxygène dans chaque flacon de DBO a temps zéro, fermer les flacons DBO hermétiquement et les mettre dans l'incubateur a 20 C° pendant 5 jours ; après l'incubation, mesurer la concentration de l'oxygène dissous.

❖ Mode opératoire

- Introduire un volume d'eau dans un flacon brun en verre contenant un barreau magnétique.
- Mettre trois pastilles de soude (NaOH).
- Fermer les flacons par les têtes et mettre à 0.
- La température est équilibrée par un thermostat réglé à 20°C.
- Les échantillons sont incubés à l'obscurité dans une armoire thermorégulatrice fermée à clé pendant cinq jours.
- Les résultats sont affichés sur la tête de chaque flacon.



Figure III.10 : DBO mètre

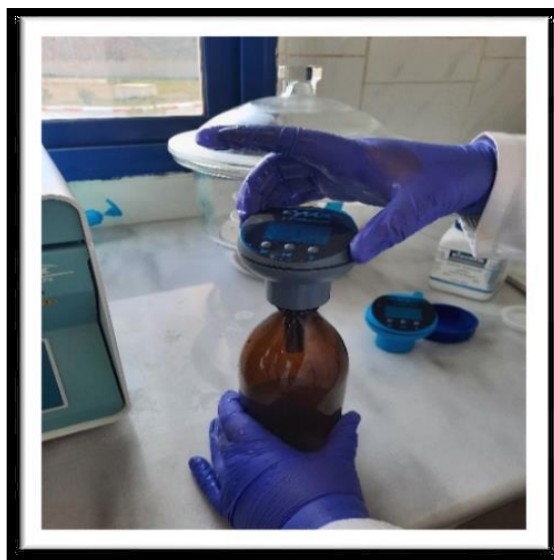


Figure III.11 : préparation de DBO_5
(Laboratoire CRD, Boumerdes)

5.1.6. Demande chimique en oxygène (DCO)

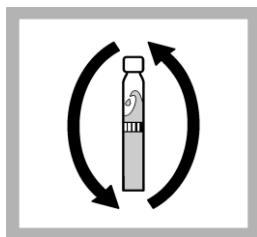
❖ Principe

Dans des conditions définies, certaines matières contenues dans l'eau sont oxydées par un excès de dichromate 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.

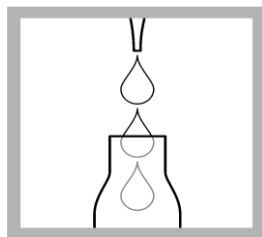
❖ Réactifs

- Un réactif de référence LCK 314 d'une gamme de mesure : 15 -150 mg/l d' O_2 pour l'eau de sortie (une cuve ronde contient 90% d'acide sulfurique, sulfate de mercure et argent sulfate).
- Un réactif de référence LCK 114 d'une gamme de mesure : 150 -1000 mg/l d' O_2 pour l'eau d'entrée (une cuve ronde contient 90% d'acide sulfurique, sulfate de mercure et bichromate de potassium).
- Un réactif de référence LCK 514 d'une gamme de mesure : 100 -2000 mg/l d' O_2 pour l'eau de sortie (une cuve ronde contient 90% d'acide sulfurique, sulfate de mercure et argent sulfate).

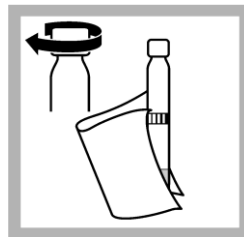
❖ Mode opératoire :



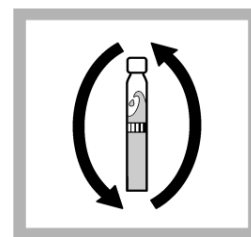
1. Mélanger le contenu
Pour avoir une solution
Homogène.



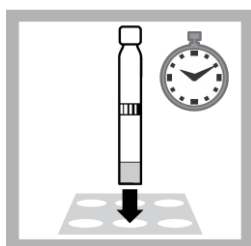
2. Pipetter soigneusement
2.0 d'échantillon



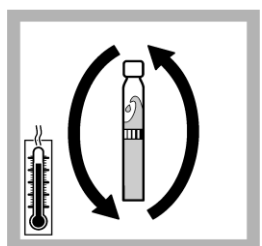
3. Fermer la cuve bien
nettoyer l'extérieur
De la cuve.



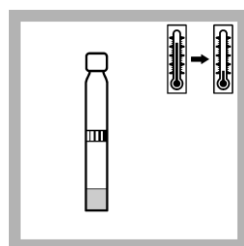
4. Retournez



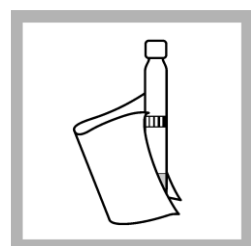
5. Chauffer dans le
Thermostat.
DCO classique :
2 heures à
148 °C (298.4 °F).
HT 200 S : 15 minutes
Avec
Le programme standard HT.



6. Sortir la cuve **chaude**.
DCO classique : Retourner
deux fois soigneusement.
HT 200 S : Après le
Déverrouillage, retourner
deux fois soigneusement.



7. Laisser **refroidir** à
température ambiante.
COD classique : dans le
support de cuve
HT 200 S : dans
Le thermostat.



8. Bien nettoyer
L'extérieur de la
cuvette et mesurer.
Remarque : Les
résidus doivent
Complètement
éliminés avant
L'évaluation.



9. Insérer la cuve dans le
Compartiment pour cuves.
DR 1900 : Accéder à
Méthodes LCK/TNT plus.
Sélectionner le test, appuyer
Sur **MESUR**

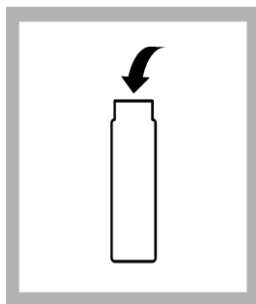
5.1.7. Dosage de l'azote total

❖ Principe

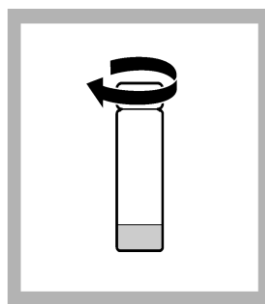
Ce mode opératoire d'écrite une méthode d'analyse pour la détermination de concentration de l'azote total allant de 5_40 mg/l.

❖ Réactif : LCK 238

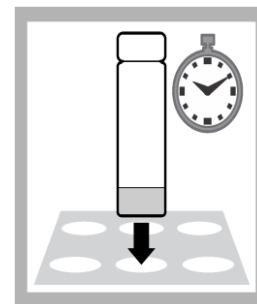
❖ **Mode opératoire :**



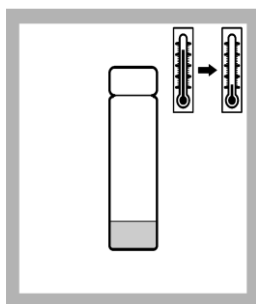
1. Doser à la suite, consécutivement dans une Éprouvette de réaction
Avec
sèche : 0.5 ml d'échantillon,
2.0 ml de solution A, 1
B.



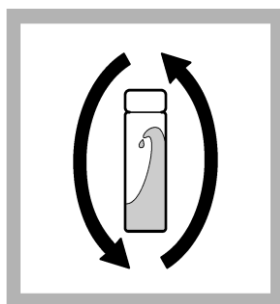
2. Fermer l'éprouvette de réaction **immédiatement**
Ne pas les mélanger !



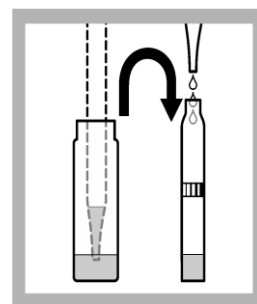
3. Chauffer **immédiatement**.
HT200S : 15 minutes
le programme standard
HT.
Thermostat : pour tablette
30 minutes à 120 °C
(248 °F).



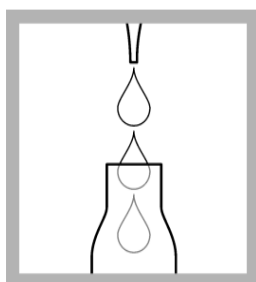
4. Laissez **refroidir** à
température ambiante.



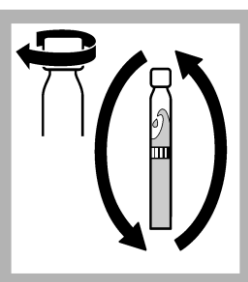
5. Retourner plusieurs fois.



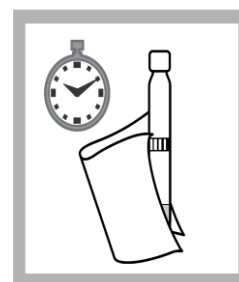
6. Pipetter lentement dans
Le Test en Cuve :
0.5 ml d'échantillon



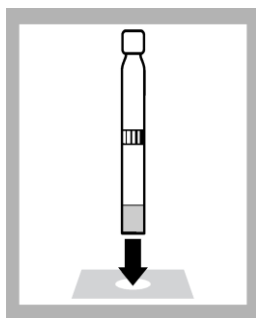
7. Pipetter lentement 0.2 ml
De solution D.



8. Fermer la cuve
Immédiatement et
Retourner plusieurs fois
Jusqu'à qu'aucun dépôt ou
Agrégat ne soit observable.



9. Après **15 minutes**, bien
nettoyer l'extérieur de la
cuve et mesurer.



10. Insérez la cuve dans le Porte-cuve.
DR1900 : Accéder à Méthodes LCK/TNT plus.
Sélectionnez le test, appuyez Sur **MESURER**.

5.1.8. Indice de Phénol

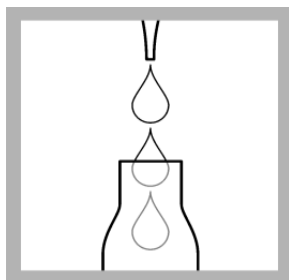
❖ Principe

Les phénols présents dans l'échantillon d'eau réagissent avec des réactifs spécifiques présents dans les cuvettes LCK 345.

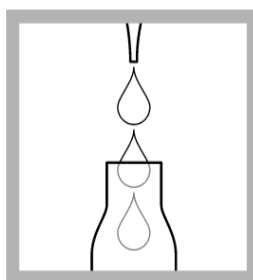
Le réactif principal est le 4-aminoantipyrine qui réagit avec les phénols en présence d'un oxydant comme le ferricyanure de potassium pour former un complexe coloré.

❖ Réactif : LCK 345

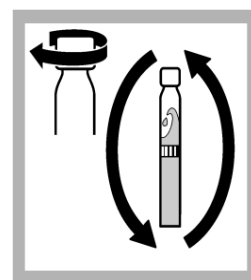
❖ Mode opératoire



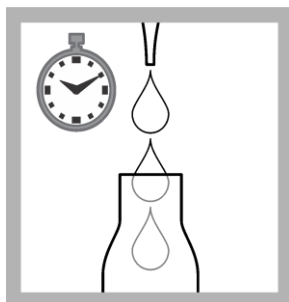
1. Pipetter soigneusement **2.0 ml** d'échantillon.



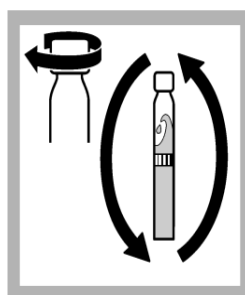
2. Pipetter soigneusement **0.2 ml** de la **solution A**.



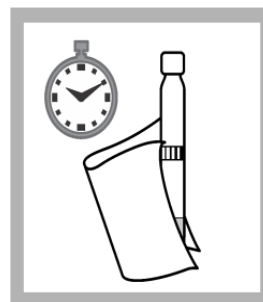
3. Fermer la cuve et Retourner plusieurs fois.



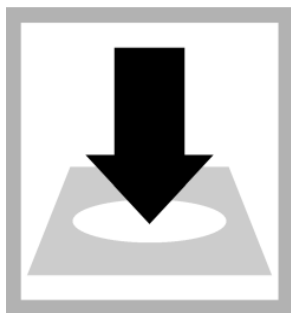
4. Après **2 minutes** (Chronomètre) et pipetter **0.2 ml** de la **solution B** Dans la **même** cuve.



5. Fermer la cuve et retourner plusieurs fois.



6. Après **2 minutes**, bien Nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer.



7. Insérer la cuve dans le Compartiment pour cuves.
DR 1900 : Accéder à Méthodes LCK/TNT plus.
Sélectionner le test, appuyer Sur **MESURER**.

5.1.9. Carbone Organique Totale (COT)

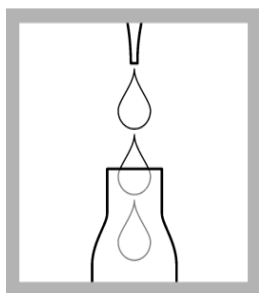
❖ Principe

Le carbone organique présent dans l'échantillon est oxydé en dioxyde de carbone (CO_2).

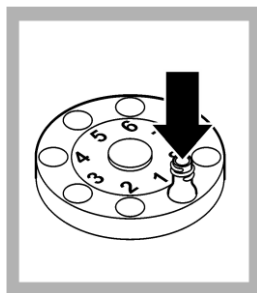
La digestion chimique est réalisée à l'aide de réactifs spécifiques qui incluent un oxydant fort (souvent du persulfate de potassium) en présence d'un catalyseur et sous conditions acides.

❖ Réactif : LCK 385

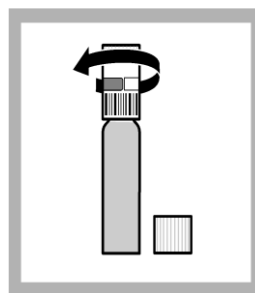
❖ Mode opératoire



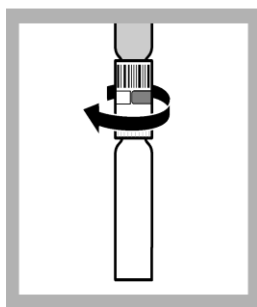
1. Pipetter **2.0 MI** D'échantillon dans la cuve De digestion.



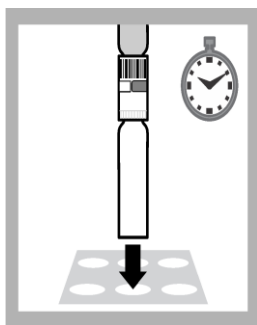
2. Insérez la cuve de digestion **ouverte** dans L'agitateur TOC-X5, en Appuyant pour l'enfoncer Plus possible. Placez-le Couvercle du ventilateur sur La cuve. Mise sous tension De l'instrument.
Après **5 minutes**, un signal Sonore est émis.



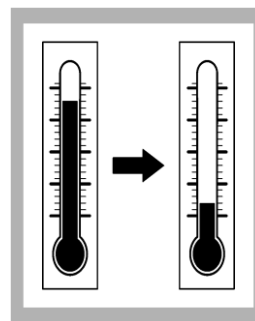
3. Lorsque la préparation d'échantillon est terminée, ouvrez la cuve indicatrice bleue et vissez **immédiatement** à fond le double bouchon à membrane. (Attention : L'étiquette du code à barres doit être dirigée vers la cuve Indicatrice).



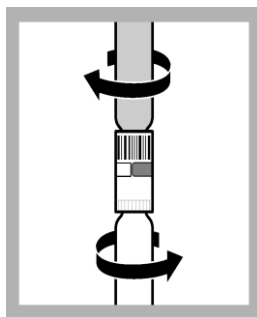
4. Fermer immédiatement
À fond la cuve de digestion
Avec la cuve indicatrice
Préparée. Maintenir
Obligatoirement les cuves
Combinées à la verticale. **Ne**
Pas les mélanger !



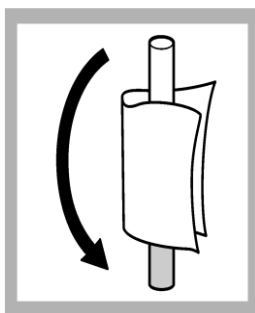
5. Chauffer dans le
thermostat (**la cuve**
indicatrice bleue en haut).
HT 200 S : 2 heures à 95 °C
(203 °F)
LT : Dans un thermostat
Préchauffé (**100 °C**
(212 °F) : 2 heures à
100 °C (212 °F)



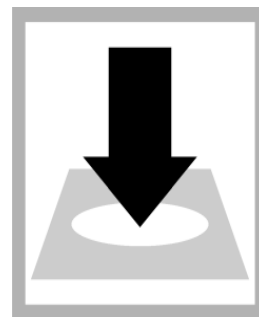
6. Ensuite, laisser refroidir
à température ambiante.



7. Serrez de nouveau la
Combinaison de cuves avant
De la retourner.



8. Retourner la
combinaison de cuves. Bien
Nettoyer l'extérieur de la
Cuve indicatrice et mesurer.



9. Insérer les cuves
combinées dans le
compartiment pour cuves la
Cuve indicatrice bleue en
Bas).
DR 1900 : Accéder à
Méthodes LCK/TNT plus.
Sélectionner le test, appuyer
Sur **MESURER**.

5.1.10. Dosage des métaux lourds par ICP/EOS

L'analyse par spectrométrie d'émission atomique par plasma ICP_OES constitue une méthode générale de dosage des éléments qui repose sur l'étude optique (détecteur monochromateur) des radiations émises par les atomes passés dans un état excité et Généralement ionisé.

Le dosage des métaux lourds se fait selon le norme ISO 11885, les résultats peuvent être présents à l'échelle ppm (l'état de traces) ou à l'échelle ppb (l'état d'ultra trace) selon la matrice à analyser.

5.1.11. Indice d'hydrocarbures

➤ Objet et domaine d'application

Cette procédure a pour objet de décrire une méthode de détermination de l'indice hydrocarbure C10-C40 par chromatographie en phase gazeuse (GPC) et détection par ionisation de flamme (FID) dans les eaux.

La méthode est applicable aux eaux de surface, aux eaux résiduaires et aux eaux de station d'épuration et permet la détermination de l'indice hydrocarbure pour des concentrations supérieures à 0.1 mg/l.

➤ Principe

- ✓ Extraction des hydrocarbures de l'échantillon par l'hexane.
- ✓ Purification sur colonne avec le sulfate de sodium et le Florisil.
- ✓ Mesurer l'aire totale de pics entre le n-décane ($C_{10}H_{22}$) et le n-tétracontane ($C_{40}H_{82}$).
- ✓ Quantification de la concentration en huiles minérales par rapport à un étalon externe composé de gasoil et d'huile minérale.
- ✓ Calcul de l'indice hydrocarbure.

➤ Déroulement de l'essai

• Mode opératoire d'extraction :

- ✓ Acidifier l'échantillon à pH 2 en ajoutant de l'acide HCL si cela n'a pas été fait sur le lieu de prélèvement.
- ✓ Ajouter environ 80g de sulfate de magnésium par 900 ml d'échantillon afin d'éviter les émulsions.
- ✓ Ajouter 50ml de solution fille du solvant s d'extraction et un barreau magnétique, fermer la bouteille et agiter vigoureusement minimum pendant 30 min à l'aide d'un agitateur magnétique.
- ✓ Retirer le bouchon et le remplacer par le micro séparateur.
- ✓ Ajouter suffisamment d'eau pour permettre la récupération de la couche d'agent d'extraction du micro séparateur ; transférer celle-ci dans une colonne pour purification et procéder au mode de purification.
- ✓ Lors du transfert de la phase organique dans la colonne pour purification, veiller à éviter de transférer l'eau car elle risque de recouvrir la surface du sulfate de sodium. Il est recommandé de transférer la couche organique en positionnant le ménisque en dessous du robinet.

- ✓ Dans le cas d'émulsion forte, centrifuger l'extrait comme suit. Transférer la phase d'agent d'extraction ainsi que l'émulsion dans un tube à centrifuger de 100ml et fermer le tube. Briser l'émulsion par centrifugation de 10 à 15 min.

- **Mode opératoire de purification :**

- ✓ Transférer la phase d'agent d'extraction dans une petite colonne remplie de 2g de Florisil et recouvrir d'une couche de 2 g de sulfate de sodium.
- ✓ Laisser percoler la phase d'agent d'extraction, suivi par 10ml supplémentaires d'hexane, à travers la colonne, dans une ampoule à décantée.
- ✓ Rincer la colonne avec environ 10ml d'hexane.

N.B : Un pré rinçage de la colonne avec quelques millilitres d'hexane peut être utile pour éviter la formation de cannelures.

- **Mode opératoire de concentration :**

- ✓ Concentrer l'extrait purifié jusqu'à l'obtention d'un volume environ 6 ml avec le rota vapeur.
- ✓ Concentrer l'extrait de 6 ml jusqu'à l'obtention d'un volume de 1ml à l'aide d'un léger courant' azote.
- ✓ Transférer une aliquote de l'extrait final dans un Vial pour l'analyse par chromatographie en phase gazeuse.



Figure III.12 : système de distillation et le titrage

5.2. Adsorption sur charbon actif

On n'a pas préparé une solution synthétique. Par contre on a utilisé l'échantillon initial.

Des échantillons prélevés filtré et analysés (détermination de la DCO et les métaux lourds) à chaque 30 min jusqu'à deux heures et demie.

Les paramètres étudiés sont : temps de contact (min), masse de quantité de CA, et le pH.

Les taux d'abattement de la DCO sont calculés à partir de la relation suivante :

$$\text{Re}\% = \frac{\text{DCO}_{\text{ini}} - \text{DCO}_{\text{fin}}}{\text{DCO}_{\text{ini}}}$$

Re (%) : Rendement d'élimination de la DCO

DCO_{ini} (mg d'O₂/l) : DCO initiale des eaux (avant adsorption)

DCO_{fin} (mg d'O₂/l) : DCO des eaux après adsorption

➤ Etude de l'effet du temps de contact sur l'adsorption :

Afin d'étudier la cinétique d'adsorption, 0.2 gr de chaque adsorbant sont mis au contact de 100 ml de la solution, à pH normal de la solution ; le mélange est agité pendant 3 heures à température ambiante et avec une vitesse d'agitation égale à 400 tours par minute. Les prélèvements sont collectés à intervalles de temps prédéterminés (10 min).

➤ Étude de l'effet de la masse d'adsorbant sur l'adsorption

L'effet de la masse initiale de l'adsorbant utilisé a été étudié au Ph normal de la solution à température ambiante, pendant 3 heures d'agitation à une vitesse de 400 tr/min et à une concentration bien déterminée des solutions en utilisant un volume de 100ml de chaque solution. Les masses de l'adsorbant utilisées sont : 0,05 – 0,1 – 0,2 – 0,5 – 1 gr. Ce test d'adsorption permet de déterminer la dose de l'adsorbant qui donne le maximum d'adsorption du polluant étudié.

➤ Effet du Ph

Le pH est un paramètre essentiel à prendre en compte dans les processus de L'adsorption. Ce paramètre agit à la fois sur la solubilité et sur l'état d'ionisation de L'adsorbant. Trois valeurs de pH (2.4.6.8 et 10) sont utilisées. Les paramètres maintenus Constants sont : temps de contact = 60 min, vitesse d'agitation = 300 tr/mn et température Ambiante. Les pH acide et basique sont obtenus, l'un par addition d'une solution d'acide Chlorhydrique et l'autre par ajout d'une solution de soude caustique.

6. Conclusion

Ce chapitre se concentre sur le protocole expérimental utilisé pour la caractérisation du paramètre physicochimique l'étude de divers facteurs influençant les processus d'adsorption des polluants dans les eaux usées industrielles. Plusieurs expériences ont été menées pour évaluer l'efficacité des adsorbants sous différentes conditions, telles que la durée de contact, la masse d'adsorbant et le Ph de la solution. Il a été démontré que ces paramètres jouent un rôle crucial dans l'efficacité de l'adsorption des polluants.

CHAPITRE 04 :

Résultats et discussion

1. Introduction

Ce chapitre est consacré à la présentation des résultats des analyses Obtenues sur des échantillons qui ont été prélevés à la sortie des séparateurs.

Les normes auxquelles nous ferons référence, sont les valeurs limites des paramètres de rejets Des effluents liquides industriels émis dans le journal officiel de la république Algérienne en 2006 et citées dans le (Tableau I.2) dans le chapitre I.

2. Caractéristiques des eaux usées au niveau de la station Harrach

2.1. Variation de la température

Les résultats de l'analyse de température effectués à la sortie de la station sont représentés Dans le (Tableau IV.1) ci-dessous.

Tableau IV.1 : Variation de la température à la sortie de la station.

Année	Température à la sortie (°C)	Norme de rejet (°C)
2021	25	30
2023	28,9	30
2024	23,7	30

Comme on peut le remarquer, les valeurs de la température varient d'un minimum de 23,7°C en 2024 à un maximum de 28,9°C en 2023 et n'ont pas dépassé la valeur limite.

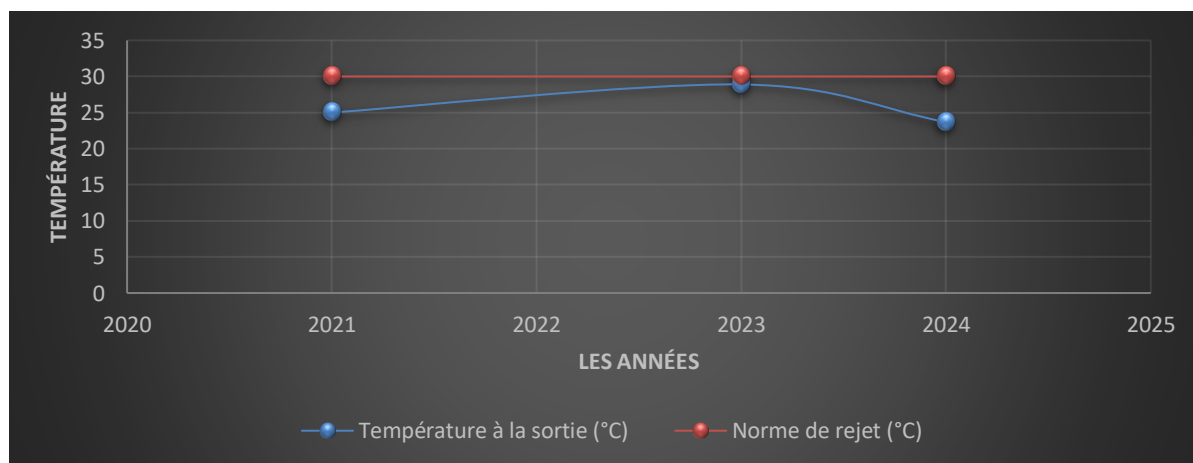


Figure IV.1 : Variation de la température à la sortie de la station.

Les données illustrées dans la **Figure IV.1** indiquent de manière évidente que les températures observées à la sortie du séparateur se situent en deçà de la limite normative représentée par une ligne rouge (30°C). Par conséquent, les résultats sont en conformité et les eaux rejetées ne posent aucun risque de pollution thermique pour l'écosystème environnant.

2.2. Variation du potentiel d’hydrogène (Ph)

L’évolution du Ph des échantillons prélevés à la sortie du séparateur R1 sont présentés dans le Tableau suivant :

Tableau IV.2 : Variation du potentiel d’hydrogène Ph à la sortie de la station.

Année	Ph	Valeur limite tolérée
2021	7, 20	8, 5
2023	7, 03	8, 5
2024	7, 22	8, 5

On constate de ces résultats que le pH varie d’un minimum de 7,03 enregistré en 2023 à un Maximum de 7,22 en 2024, dans ces eaux usées traitées.

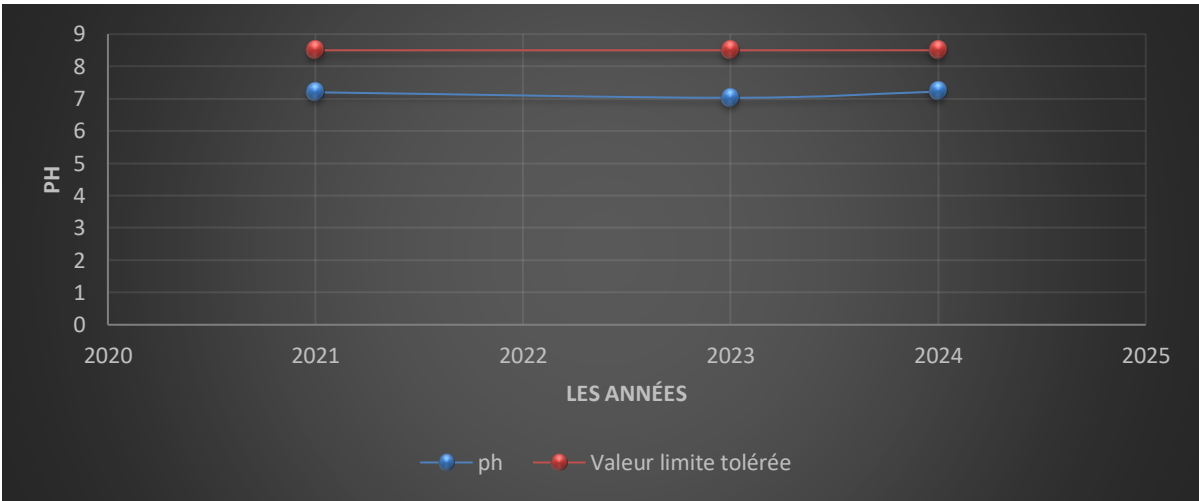


Figure IV.2 : Variation du potentiel d’hydrogène Ph à la sortie de la station.

Les résultats qui sont présentés dans la Figure IV.2 montrent que les valeurs du Ph Respectent la norme et restent inférieure à celle-ci de ce fait les résultats des analyses sur ces Eaux usées traitées sont conformes.

2.3. Variation de la DBO₅ :

La variation de la DBO₅ à la sortie de la station est représentée dans le Tableau IV.3 Suivants :

Tableau IV.3 : Variation de la DBO₅ à la sortie de la station.

Année	DBO5 (mg/L)	Norme de rejet (mg/L)
2021	37	35
2023	400	35
2024	410	35

Les valeurs de la DBO₅ varient entre 37 mg/l d’O₂ en 2021 et 410 mg/l d’O₂ en 2024.

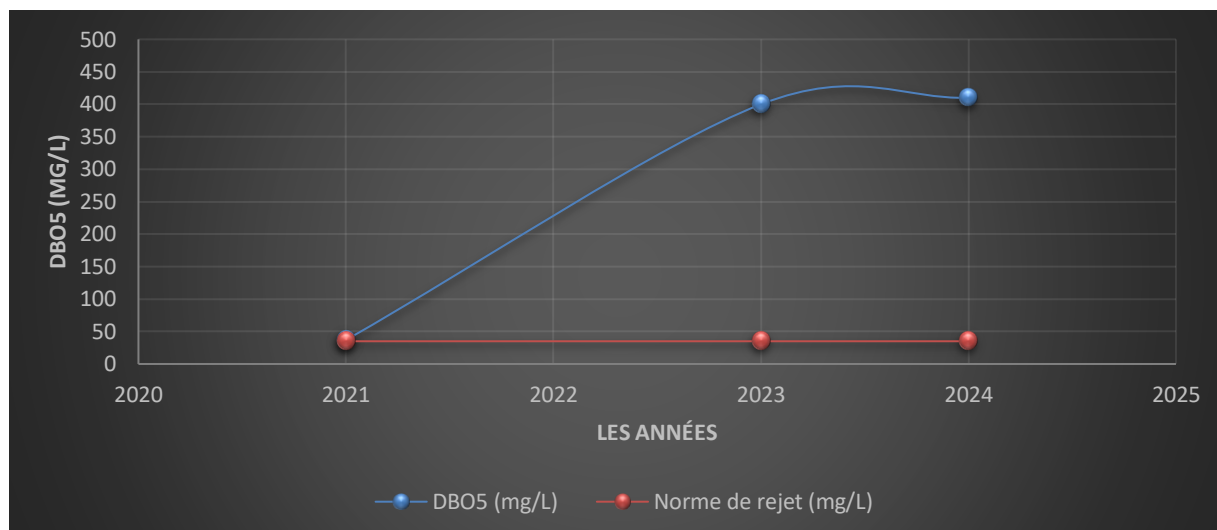


Figure IV.3 : Variation de la DBO₅ à la sortie de la station.

Les résultats qui sont présentés dans la **Figure IV.3** montrent que les valeurs de la DBO₅ des Eaux traitées dépassent la norme. Nous pouvons expliquer ces valeurs élevées par la présence d'une forte concentration en hydrocarbures dans ces eaux de déballastage, le séparateur de traitement inefficace et ne peut pas traiter les substances difficilement biodégradables.

2.4. Variation de la DCO :

L'évolution de la DCO à la sortie de la station est présentée dans le **Tableau IV.4** suivants :

Tableau IV.4 : Variation de la DCO à la sortie de la station.

Année	DCO (mg/L)	Norme de Rejet (mg/L)
2021	634	120
2023	1176, 5	120
2024	1836	120

On s'aperçoit que les valeurs de la DCO varient entre un minimum de 634 mg/L en 2021 à un maximum de 1836 mg/L en 2024.

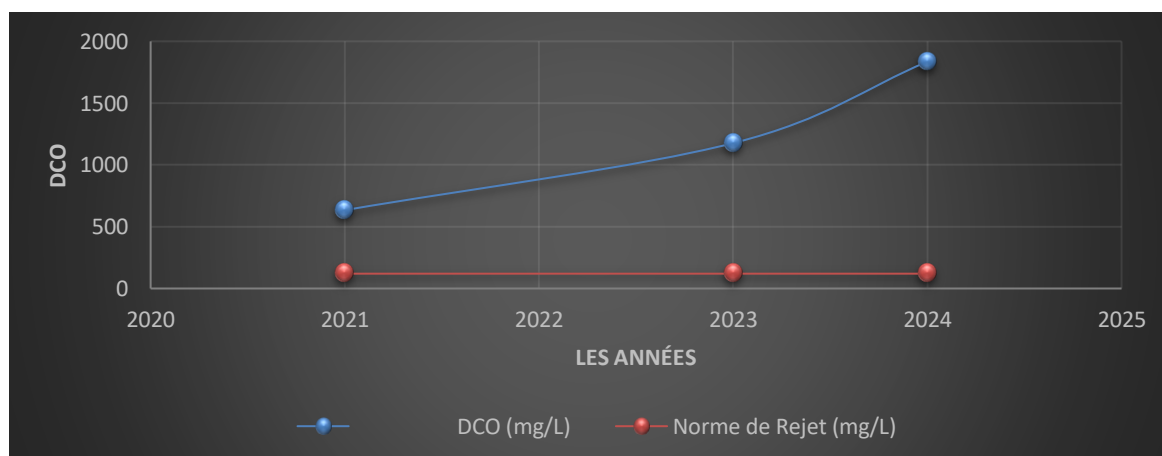


Figure IV.4 : Variation de la DCO à la sortie de la station.

Les résultats qui sont représentés dans la **Figure IV.4** montrent que les valeurs de la DCO à la sortie de la station dépassent la norme de rejet qui est de 120 mg/L. En notant un large pic en 2024 de 1836 mg/L. Cette non-conformité a les mêmes origines que celle de la DBO₅.

Toutes les matières organiques apportées par les hydrocarbures et l'air consomment, en se dégradant, l'oxygène dissous dans l'eau. Ce qui donne lieu à une DCO très élevée.

2.5. Variation des Matières en Suspension (MES) :

L'évolution des matières en suspension est représentée dans le **Tableau IV.1.5** :

Tableau IV.5 : Variation de la teneur en MES à la sortie de la station.

Année	MES (mg/L)	Norme de rejet (mg/L)
2021	33	35
2023	165	35
2024	296	35

Les valeurs de MES varient entre un minimum de 33 mg/L enregistré en 2021 jusqu'à un maximum de 296 mg/L enregistré en 2024.

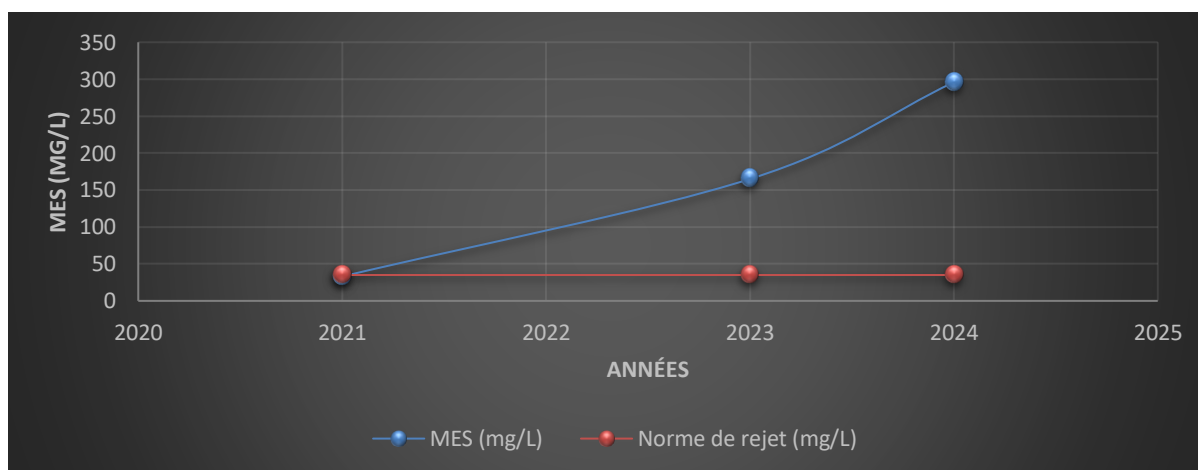


Figure IV.5 : Variation de la teneur en MES à la sortie de la station.

En 2021 la valeur de 33 mg/L a été obtenue lors des analyses, valeur respectant la norme et étant en dessous de celle-ci, ce qui montre le bon fonctionnement du séparateur durant cette année.

En 2023 et 2024 les valeurs sont dépassées la norme Ceci est dû au fait que les séparateurs n'aient toujours pas été couverts. Etant ainsi ouverts à l'air libre, toutes les particules que l'air transporte s'y déposent (feuilles, poussières, micro particules... etc.).

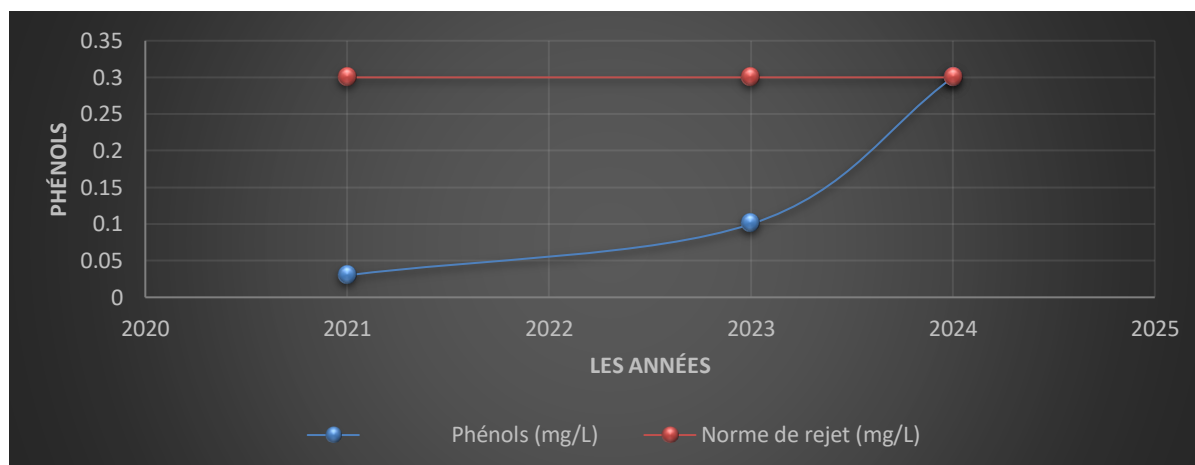
2.6. Variation de l'indice de phénols :

La variation des valeurs de l'indice de phénols enregistrée à la sortie de la station est représentée dans le **Tableau IV.6** suivants :

Tableau IV.6 : Variation de l'indice de phénols à la sortie de la station.

Année	Phénols (mg/L)	Norme de rejet (mg/L)
2021	0,03	0,3
2023	0,1	0,3
2024	0,3	0,3

Nous remarquons que la norme est fixée à 0,3 mg/L et que les valeurs sont variées 0.03 (mg/l) et 0,3 (mg/l).

**Figure IV.6** : Variation de l'indice de phénols à la sortie de la station.

Les résultats représentés dans la **Figure IV.6** montrent que les valeurs enregistrées de l'indice de phénols des eaux usées traitées à la sortie de la station en 2021 et 2023 sont inférieures à la limite autorisée.

L'augmentation de la valeur du phénol en 2024 par rapport aux années 2021 et 2023, où sa valeur était proche à la valeur limite, indique une détérioration des performances de la station de traitement.

2.7. Variation des teneurs en huiles et graisses

La variation des teneurs en huiles et graisses au cours des 3 années prises en compte, est représentée dans le **Tableau IV.7** :

Tableau IV.7 : Variation des teneurs en huiles et graisses à la sortie de la station.

Année	Huiles et graisses (mg/L)	Norme de rejet (mg/L)
2021	21	20
2023	29	20
2024	42	20

On relève que les valeurs varient d'un minimum de 21 mg /L enregistré en 2021 à un maximum de 42 mg/L en 2024.

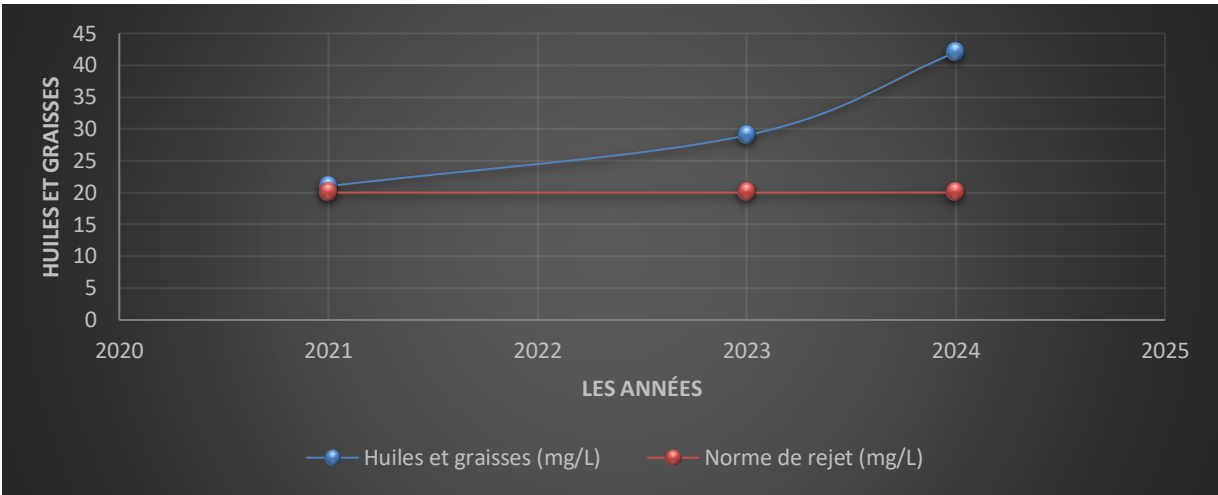


Figure IV.7 : Variation du teneur en huiles et graisse à la sortie de la station.

Les résultats représentés dans le graphe de la **Figure IV.7** montrent que toutes les valeurs sont dépassées la norme fixée à 20 mg/L et représentée en pointillés rouge sur le graphe pour les huiles et graisses. Ce qui indique un problème croissant de contrôle des huiles et graisses à la sortie de la station.

2.8. Variation de l’Azote Total

Le **Tableau IV.8** ci-dessous, représente la variation des valeurs de l’Azote total enregistrée à la sortie de la station.

Tableau IV.8 : Variation de la teneur en azote total à la sortie de la station.

Année	Azote Total (mg/L)	Norme de rejet (mg/L)
2021	6	30
2023	24	30
2024	32	30

Les valeurs notées dans ce tableau varient d’un minimum de 6 mg/L en 2021 à un maximum de 24 mg/L en 2024.

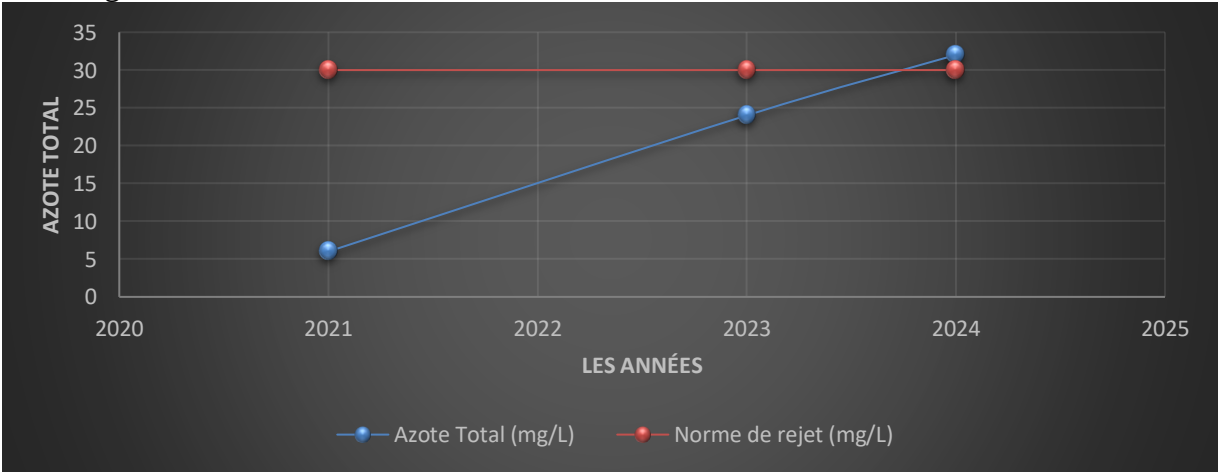


Figure IV.8 : Variation de la teneur en azote Total à la sortie de la station.

Dans le graphe de la **Figure IV.8** les résultats indiqués montrent que les valeurs obtenues sur l'analyse des échantillons prélevés à la sortie de la station en 2021, 2023 est restent en dessous de la norme et sont donc adéquates.

En 2024, la valeur dépasse la valeur limite ce qui indique un problème de séparateur.

2.9. Variation des Hydrocarbures totaux

Le **Tableau IV.9** présente les résultats de la variation de la teneur en hydrocarbures totaux enregistrée à la sortie du séparateur E/HC.

Tableau IV.9 : Variation de la teneur en hydrocarbures totaux à la sortie de la station.

Année	HC totaux (mg/L)	Norme de rejet (mg/L)
2021	280	10
2023	565	10
2024	820	10

Les valeurs notées dans ce tableau varient et tous sont dépassées la valeur limite.

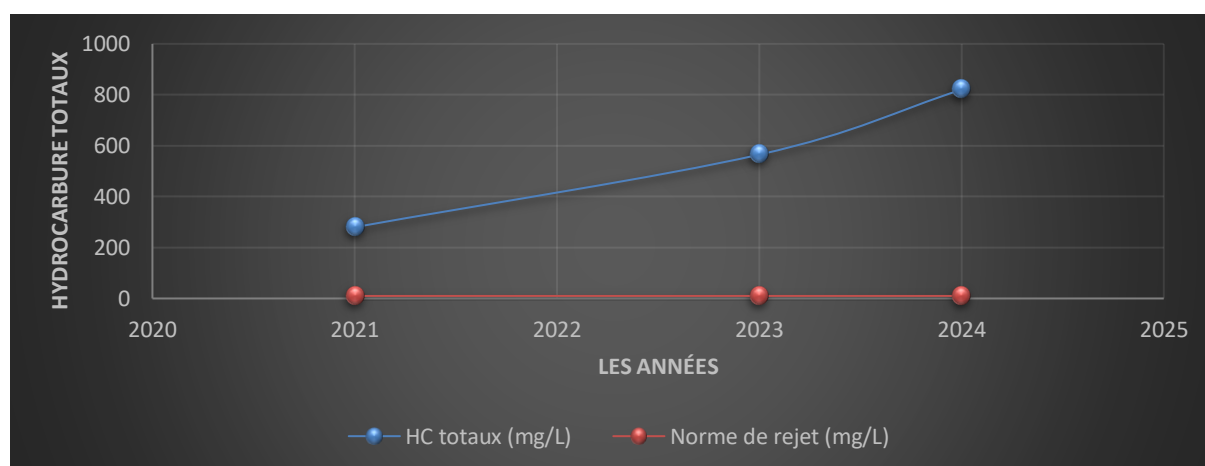


Figure IV.9 : Variation des hydrocarbures totaux à la sortie de la station.

Les différentes teneurs en hydrocarbures totaux obtenues après les analyses effectuées sur des échantillons à la sortie du séparateur sont représentées dans la **Figure IV.9**.

Nous remarquons que toutes les valeurs sont dépassées la valeur limite.

L'augmentation des hydrocarbures à la sortie de la station d'épuration peut indiquer :

- ✓ La station d'épuration peut être inefficace pour éliminer les combustibles de l'eau ou de l'air traité, ce qui entraîne le rejet de quantité plus important que prévu.
- ✓ Il peut y avoir des problèmes avec l'équipement ou les systèmes utilisés dans le traitement, tels que des filtres ou des systèmes chimiques qui peuvent être endommagés ou mal entretenus.

- ✓ Il peut y avoir une augmentation de la quantité de carburant entrant dans la station, que ce soit en raison d'une augmentation de l'activité industrielle ou d'un changement dans la qualité des matières premières utilisées.
- ✓ Le défaut d'entretien régulier des équipements et des systèmes de traitement peut entraîner une accumulation de carburants.
- ✓ Tout changement dans les processus opérationnels ou un fonctionnement inapproprié de l'usine pourrait affecter l'efficacité du traitement.

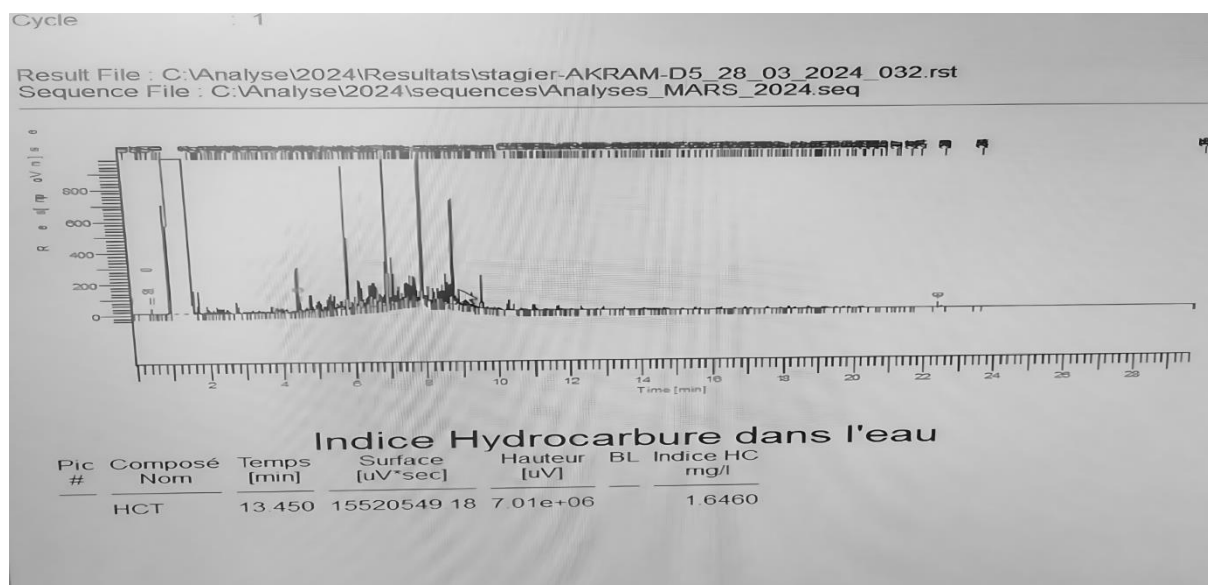


Figure IV.10 : résultat d'indice d'hydrocarbure depuis l'équipement CPG

2.10. Variation des métaux lourds

Le **Tableau IV.10** et **Tableau IV.11** présente les résultats de la variation des métaux lourds (chrome total) et (plomb total) enregistrée à la sortie du séparateur E/HC.

Tableau IV.10 : Variation des métaux lourds (chrome total) à la sortie de la station.

Année	Chrome total (mg/L)	Norme de rejet (mg/L)
2021	0,4	0,5
2023	0,7	0,5
2024	1,4	0,5

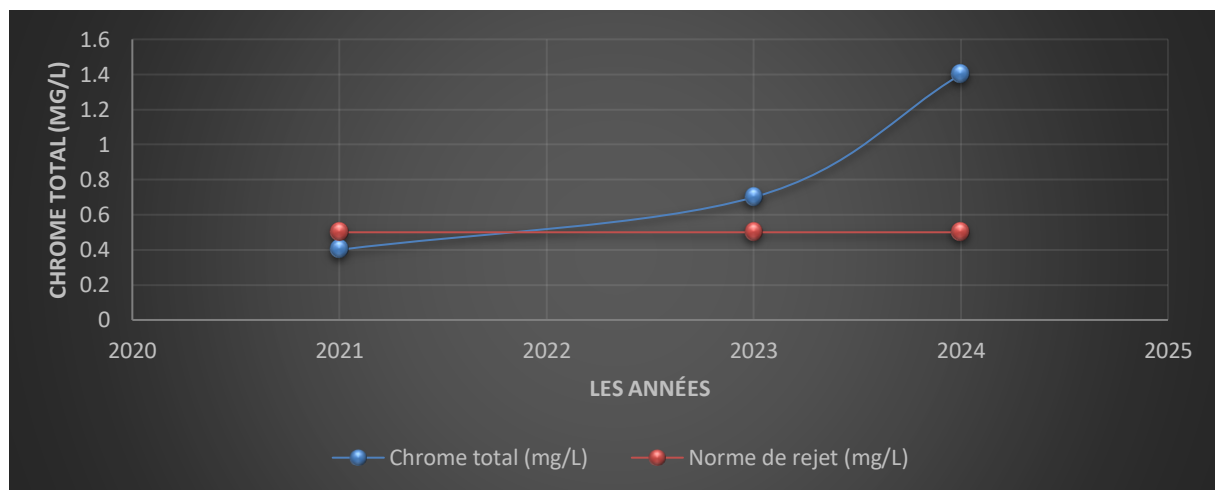


Figure IV.11 : Variation des métaux lourds (chrome total) à la sortie de la station.

Dans le graphe de la **Figure IV.11** les résultats indiqués montrent que les valeurs obtenues sur l'analyse des échantillons prélevés à la sortie de la station en 2023, 2024 a été dépassée la valeur limite.

En 2021, la valeur reste en dessous de la valeur limite.

Tableau IV.11 : Variation des métaux lourds (plomb total) à la sortie de la station.

Année	Plomb total (mg/L)	Norme de rejet (mg/L)
2021	0,3	0,5
2023	6,8	0,5
2024	9,9	0,5

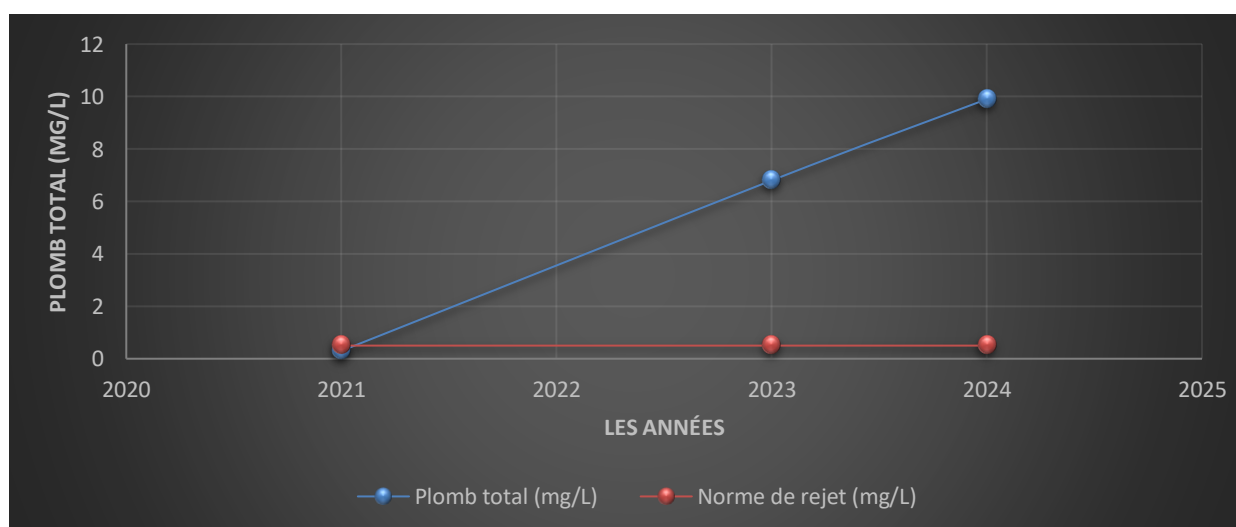


Figure IV.12 : Variation des métaux lourds (plomb total) à la sortie de la station.

Dans le graphe de la **Figure IV.12** les résultats indiqués montrent que les valeurs obtenues sur l'analyse des échantillons prélevés à la sortie de la station en 2023, 2024 a été dépassée la valeur limite.

En 2021, la valeur reste en dessous de la valeur limite.

3. Traitement des eaux par l'adsorption sur charbon actif

3.1. La variation de DCO après traitement

➤ Effet de temps

D'après le tableau (IV.12) et les figures (IV.12), (IV.13), on observe que la DCO en diminue Au cours du temps de façon très rapide et le rendement de l'adsorption des polluants

Sur CA augmente avec le temps de contact jusqu'à l'obtention d'un pallier. Le maximum du Rendement d'adsorption est obtenu pour un temps de contact de 90 mn et quantité 0.2 g de Charbon actif. Au-delà de cette durée, le rendement demeure constant (93,5%).

Tableau IV.12 : Evolution de DCO en fonction de temps par charbon actif

Temps (min)	0	10	30	60	90	180
DCO (mg/l)	1836	634	389	137	121	126
Re %	1	65.5	79	92.5	93.5	93.1

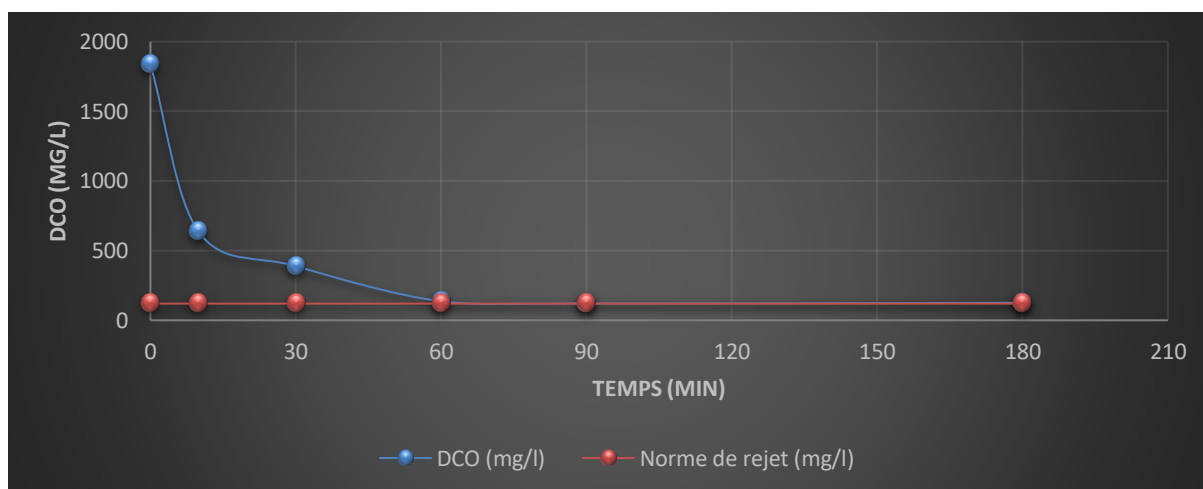


Figure IV.13 : Evolution de la DCO en fonction de temps.

Dans la **Figure IV.13** on observe une décroissance rapide de la concentration DCO au cours du temps.

La valeur est très élevée autour de 1800 mg/l à t=0. Cela indique une forte charge organique initial dans le milieu.

La concentration chute ensuite brutalement sur les 60 premières minutes passant à environ 137 mg/l. Cette première phase de décroissance rapide suggère une dégradation/ élimination efficace de la pollution organique.

Après ce stade initial la décroissance ralentit jusqu'à ce qu'elle se stabilise à 90 minutes.

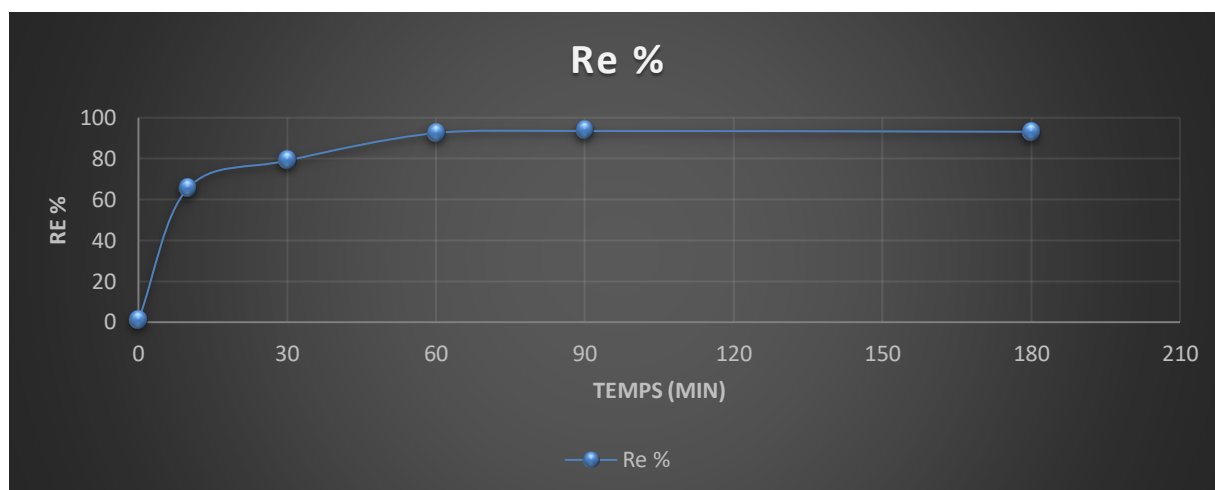


Figure IV.14 : Evolution du rendement de l'adsorption des polluants en fonction de temps.

On observe une augmentation rapide jusqu'à atteindre un plateau relativement stable autour d'une valeur de 93%.

Cette forme de courbe est typique de nombreux processus d'adsorption où il y a d'abord une phase d'adsorption rapide suivie d'un ralentissement et d'une stabilisation lorsque la saturation est atteinte. La légère décroissance intermédiaire peut indiquer une désorption partielle ou un phénomène de relargage des polluants adsorbés avant la stabilisation finale.

➤ Effet de la quantité de charbon actif

Les résultats donnés dans le tableau (IV.11) et sur les figures (IV.12), (IV.13) montrent que le rendement de l'adsorption des polluants augmente de manière significative avec la masse de charbon actif. Comme le volume des eaux utilisé au cours de chaque expérience est constant, ce rendement augmente donc avec la masse de l'adsorbant utilisé.

Tableau IV.13 : Evolution de DCO en fonction de la quantité de charbon actif

Temps (min)	90	90	90	90	90	90
Charbon actif (g)	0	0.05	0.1	0.2	0.5	1
DCO (mg/l)	1836	384	296	127	107	113
Re (%)	1	79	84	93	95.7	93.9

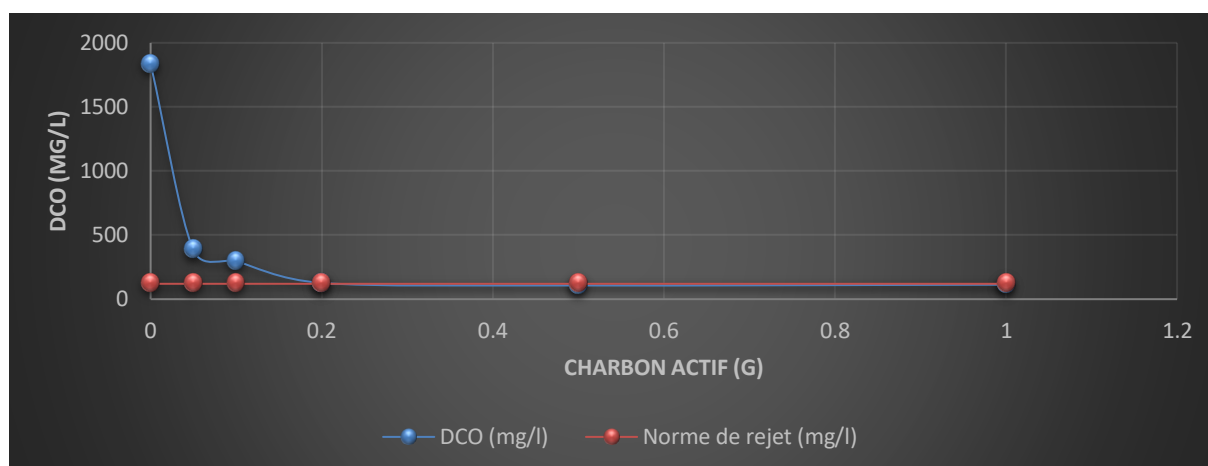


Figure IV.15 : Evolution de la DCO en fonction de quantité de CA.

Le graphique montre que le Charbon actif est efficace pour réduire la DCO jusqu'à une certaine concentration (0.5). Puisque le charbon actif a une grande surface et une large répartition des pores, ce qui améliore sa capacité à attirer et à retenir les molécules de chrome à sa surface.

Au-delà de cette concentration, son efficacité diminue. A cause de la surface de charbon actif devient complètement saturée de molécules adsorbées, de sorte qu'elle ne peut plus adsorber de molécules de la solution.

Pour une utilisation efficace du charbon actif dans le traitement des eaux usées, il serait optimal de maintenir sa concentration autour de 0.5 du charbon actif, où la réduction de la DCO est maximale.

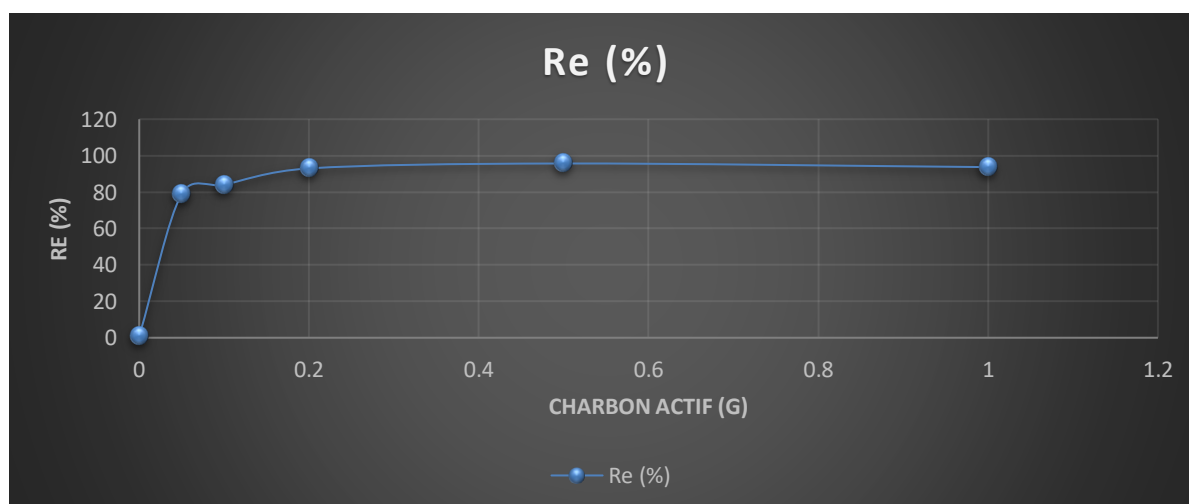


Figure IV.16 : Evolution du rendement de l'adsorption des polluants en fonction de quantité de charbon actif

Pour une utilisation optimale du charbon actif, il semble qu'une concentration à 0.5 de charbon actif soit suffisante pour maintenir un rendement élevé d'adsorption (95,7%)

La légère diminution du rendement pour des concentrations élevées de CA, Il pourrait être dû à une saturation des sites d'adsorption sur le charbon actif ou à des effets négatifs comme l'agglomération des particules de charbon actif qui réduirait la surface d'adsorption effective.

➤ Effet de Ph

D'après les résultats consignés dans le tableau (IV.14) et les figures (IV.16), (IV.17), nous constatons que le taux d'élimination des polluants sur charbon actif est beaucoup plus important aux Ph acides. Il augmente de manière notable avec la diminution du Ph. Pour une masse de CA = 0,2 g/ml, le rendement de l'adsorption passe de 95.3 à 65% lorsque le Ph chute d'une valeur 10 à une valeur 2. Cette variation de Ph engendre une augmentation du rendement de 95.3 %. Les rendements les plus importants sont obtenus à Ph = 2,0.

Tableau IV.14 : Evolution de la DCO et le rendement de l'adsorption des polluants en Fonction de Ph

Ph	2	4	6	8	10
DCO (mg/l)	87	139	165	389	642.5
Re %.	95.3	92.4	91	78.81	65

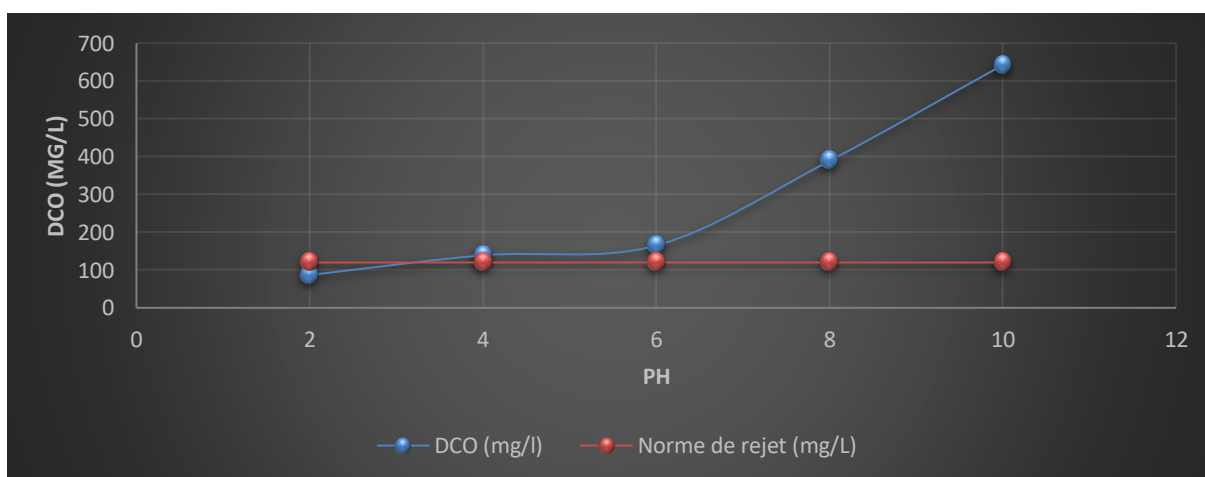


Figure IV.17 : Evolution de la DCO en fonction de Ph.

La relation observée indique que la DCO tend à augmenter avec le Ph. Cela peut s'expliquer par la solubilité et la dégradation des matières organiques, qui peuvent varier avec le pH.

Un Ph plus élevé peut favoriser la solubilisation des composés organiques ou leur transformation en composés plus oxydables, augmentant ainsi la DCO.

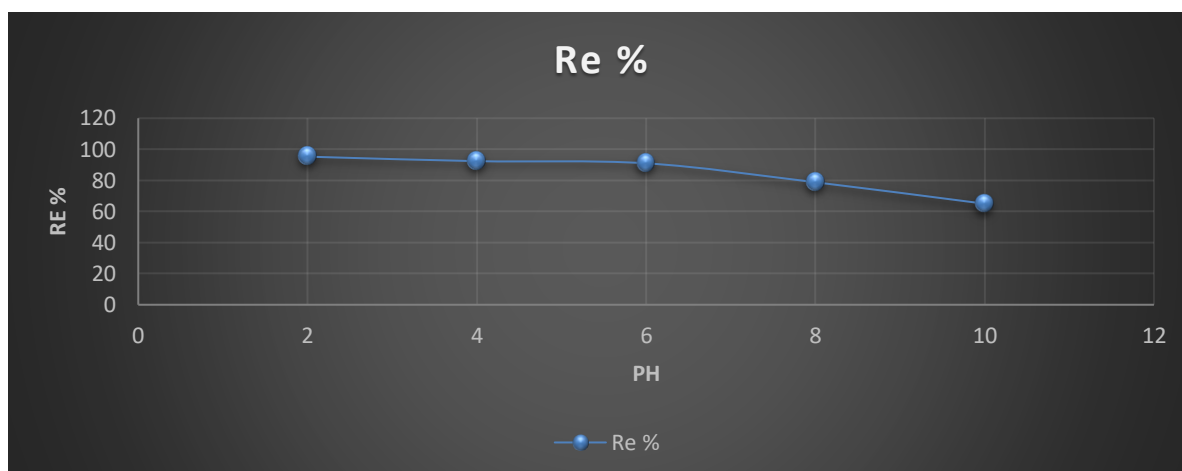


Figure IV.18 : Evolution de rendement d'adsorption en fonction de Ph

Le graphique montre clairement que le rendement (Re %) diminue de manière significative à mesure que le Ph augmente. Le graphique suggère que le rendement est optimal à des Ph acides (proches de 2). En d'autres termes, l'efficacité du processus mesuré est maximale dans des conditions très acides.

3.2. La variation des métaux lourds après traitement (Cr, Pb)

➤ Effet de temps :

❖ Chrome total

Tableau IV.15 : Evolution de concentration de chrome totale en fonction de temps

Temps (min)	0	10	30	60	90	180
Chrome total (mg/l)	1,4544	0,90409	0,85653	0,7543	0,56640	0,57121
Re %	1	37,9	41.1	48.1	61	61

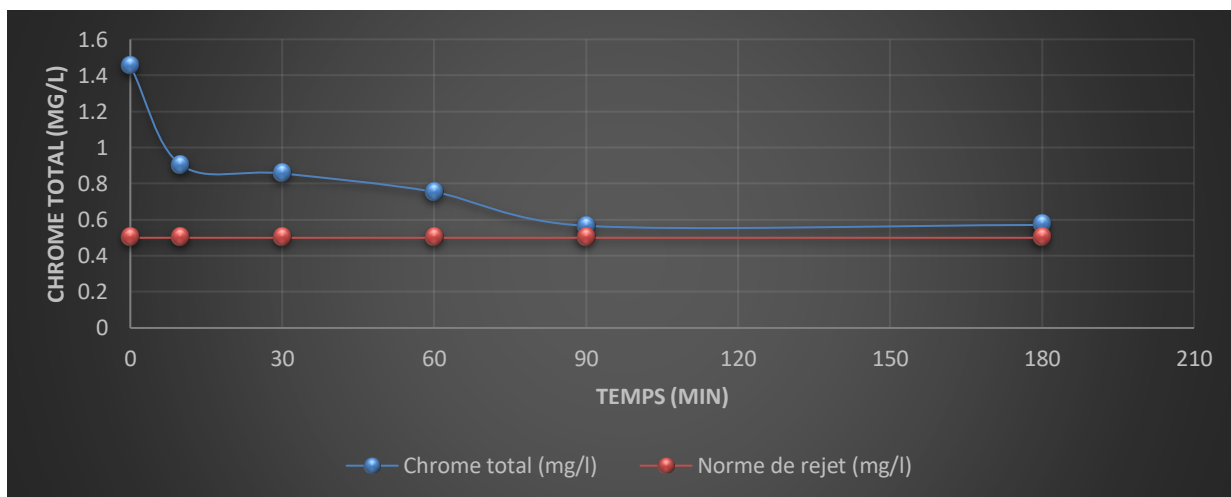


Figure IV.19 : Evolution de concentration de chrome total en fonction de temps.

L'influence de temps de contact sur la concentration d'adsorption du chrome totale est représenté sur la **Figure IV.19** on constate que la concentration du chrome total diminue avec le temps de contact. L'allure de la courbe permet de mettre en évidence deux zones :

La première s'étalant de $t=0$ à $t=90$ minutes à montre une diminution progressive de la concentration, on atteint une concentration de 0.56640 mg/l au bout de 90 min.

La deuxième zone se représente sous forme d'un stade de stabilisation,

D'après cette figure, on constate que le temps de contact d'équilibre est de 90 min.

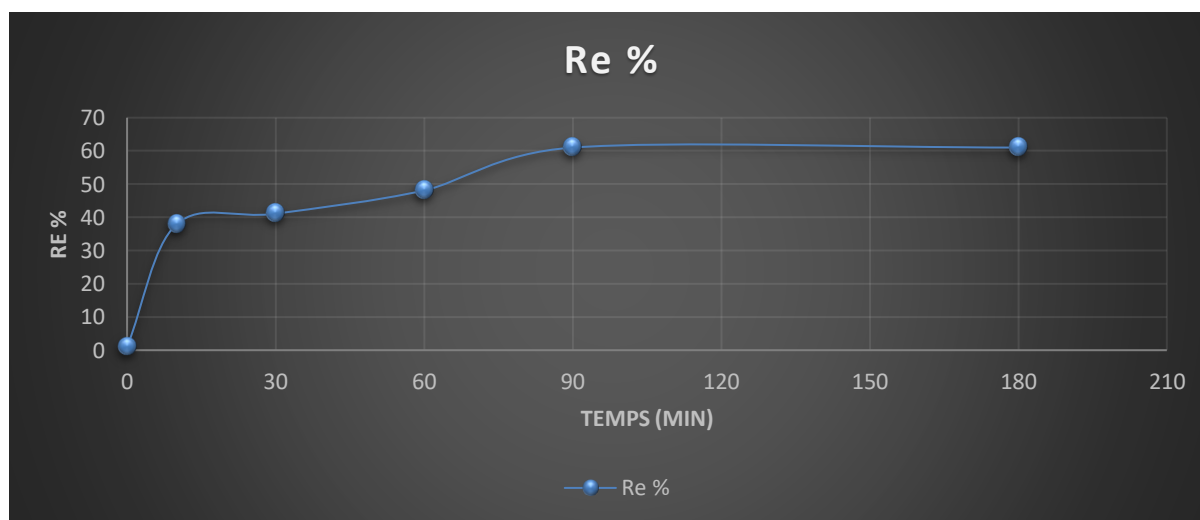


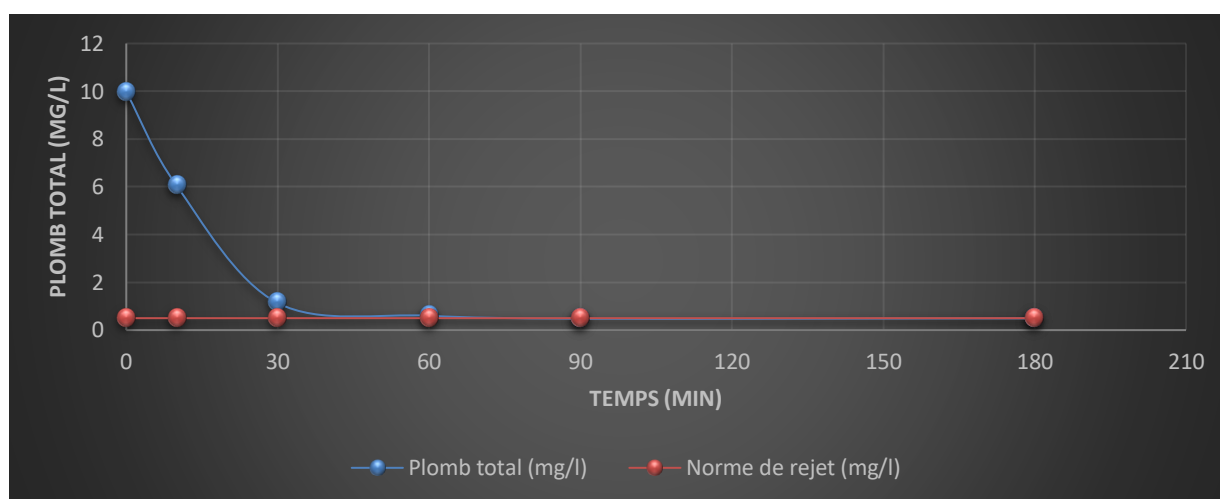
Figure.IV.20 : Effet du temps sur le rendement d'adsorption des ions de chrome total sur CA.

Nous remarquons à travers la **Figure.IV.20** que le bon rendement d'adsorption du chrome total situe à 90 minutes avec valeur de 61%.

❖ Plomb total

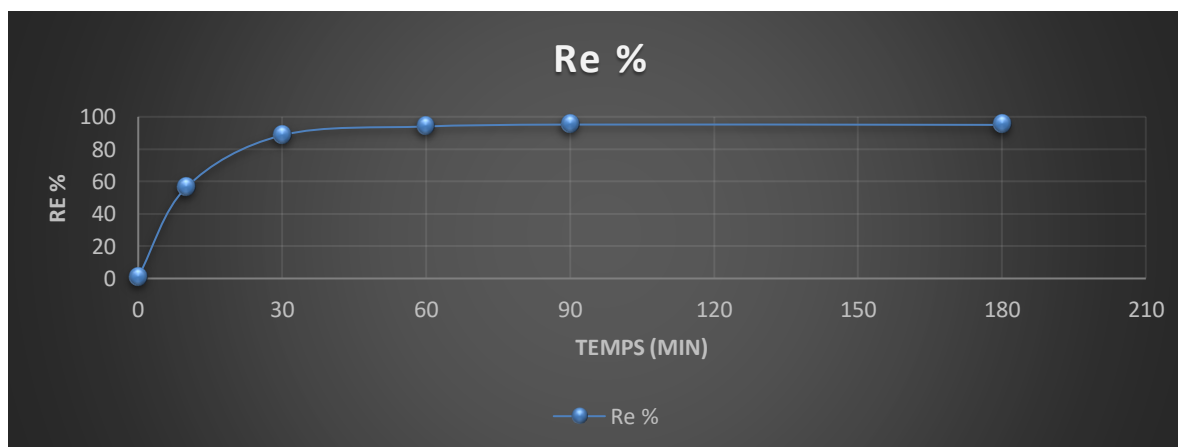
Tableau IV.16 : Evolution de concentration de plomb totale en fonction de temps.

Temps (min)	0	10	30	60	90	180
Plomb total (mg/l)	9,966	6,0408	1,1361	0,6014	0,4771	0,4914
Re %	1	56,3	88,6	94	95.2	95

**Figure.IV.21** : Evolution de concentration de plomb total en fonction de temps

L'influence de temps de contact sur la concentration d'adsorption du plomb totale est représenté sur le **Figure.IV.21** on constate que la concentration du plomb total diminue avec le temps de contact. L'allure de la courbe permet de mettre en évidence deux zones :

La première s'étalant de $t=0$ à $t=90$ minutes à montre une diminution progressive de la concentration, on atteint une concentration de 0.4171 mg/l au bout de 90 min. La deuxième zone se représente sous forme d'un stade de stabilisation.

**Figure.IV.22** : Effet du temps sur le rendement d'adsorption du plomb total sur le charbon actif

Nous remarquons à travers la (**Figure.IV.22**) que le bon rendement d'adsorption du plomb total situe à 90 minutes avec valeur de 95,2%.

➤ Effet de masse du charbon actif

❖ Chrome total

Tableau IV.17 : Evolution de concentration de Chrome totale en fonction de quantité du charbon actif.

Temps (min)	90	90	90	90	90	90
Charbon actif (g)	0	0.05	0.1	0.2	0.5	1
Chrome total (mg/l)	1.4544	1,1763	0,8510	0,4231	0,4355	0,4231
Re (%)	1	15,3	38,7	69.3	69,2	69,3

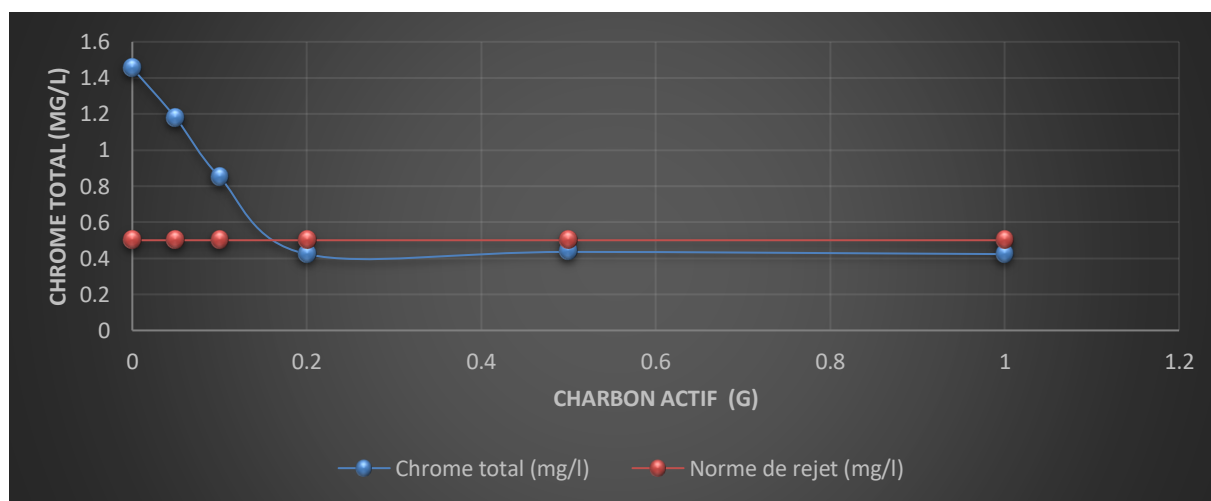


Figure.IV.23 : Effet de la masse du charbon actif sur l'adsorption des ions de Cr.

D'après la figure on constate une diminution rapide des ions de chrome, en raison de l'augmentation de zone d'interaction entre les ions de chrome et la surface de charbon actif. Jusqu' à atteindre un stade de stabilité à cause de la saturation de la toute la surface de charbon par des ions adsorbées.

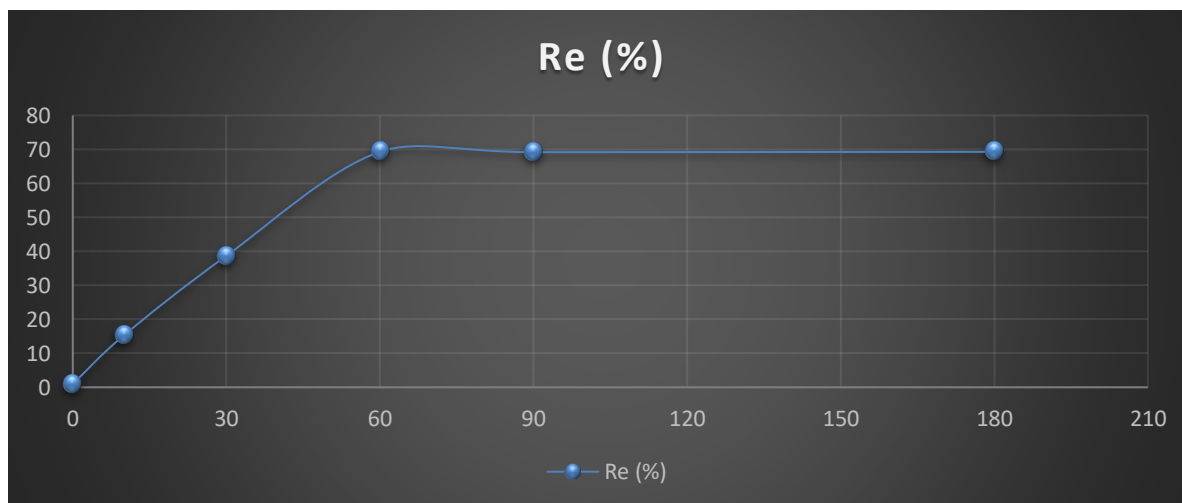


Figure.IV.24 : Effet de masse du charbon actif sur le rendement d'adsorption des ions de Cr.

Nous remarquons à travers **Figure.IV.24** que le bon rendement (90%) d'adsorption des ions de chrome total situe à 90 minutes avec une masse de charbon actif 0.2g. .

➤ Plomb total

Tableau IV.18 : Evolution de concentration de plomb totale en fonction de quantité du charbon actif.

Temps (min)	90	90	90	90	90	90
Charbon actif (g)	0	0.05	0.1	0.2	0.5	1
Plomb total (mg/l)	9.966	5,0167	1,6667	0,4677	0,4810	0,4756
Re (%)	1	44	81.39	94.7	94,6	94,4

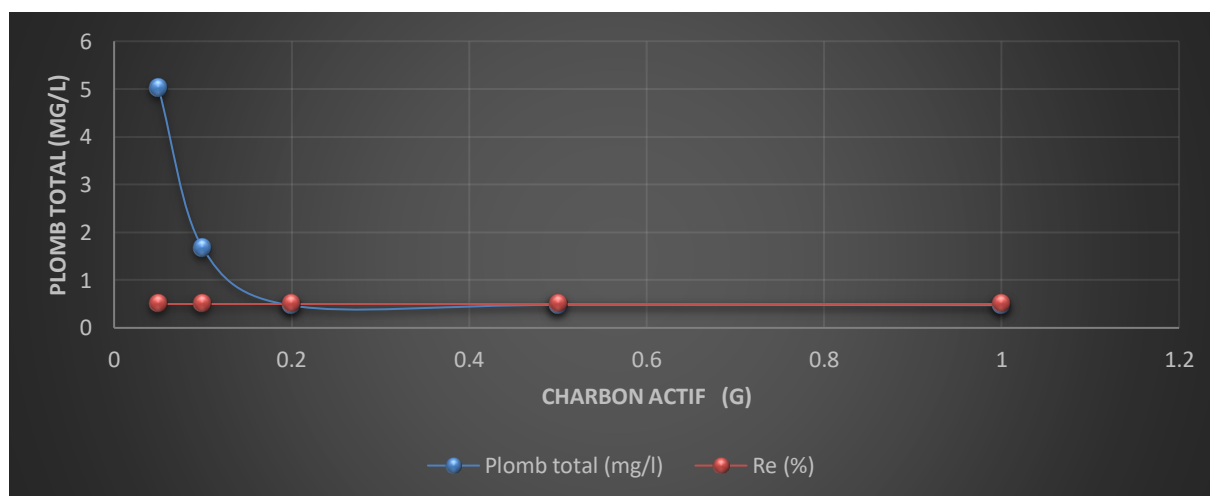


Figure.IV.25 : Effet de la masse du charbon actif sur l'adsorption des ions de Pb

D'après la figure nous remarquons une diminution rapide des ions de Plomb, en raison de l'augmentation de zone d'interaction entre les ions de plomb et la surface de charbon actif.

Jusqu' à atteindre un stade de stabilité de 0.2 à 1. A cause de la surface de charbon actif qui devient complétement saturée des ions adsorbées.

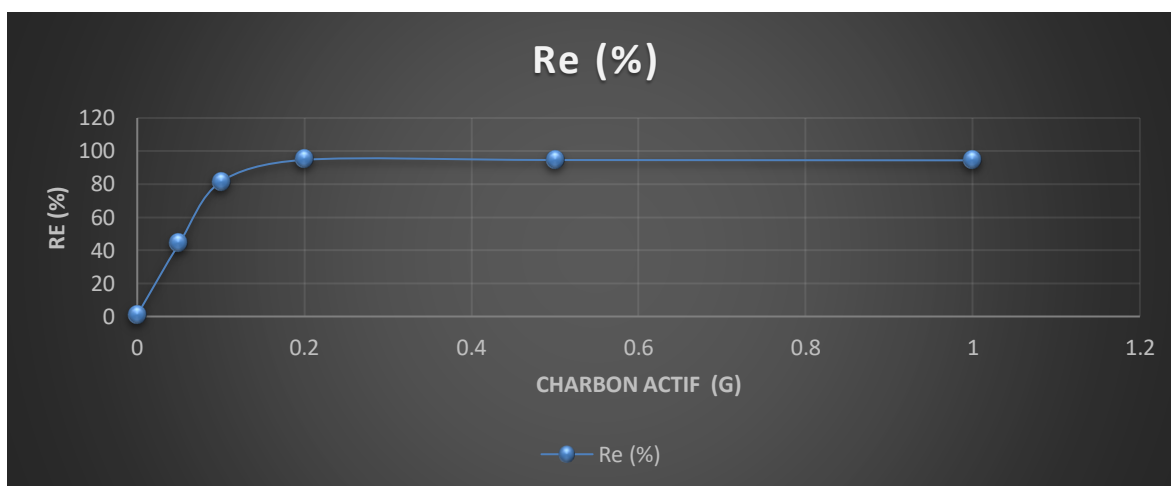


Figure.IV.26 : Effet de masse du charbon actif sur le rendement d'adsorption du Pb

Nous remarquons à travers **Figure.IV.26** que le bon rendement d'adsorption des ions de chrome total situe autour de 95% pour un temps de contact de 90 minutes et une masse de charbon actif 0.2g.

➤ Effet de Ph

❖ Chrome totale

Tableau IV.19: Evolution de concentration de Chrome totale en fonction de Ph

Temps (min)	90	90	90	90	90
Ph	2	4	6	8	10
Chrome total (mg/l)	0.561	0,643	1.1241	1.3906	1.389
Re (%)	61.42	55.7	22.7	4	4

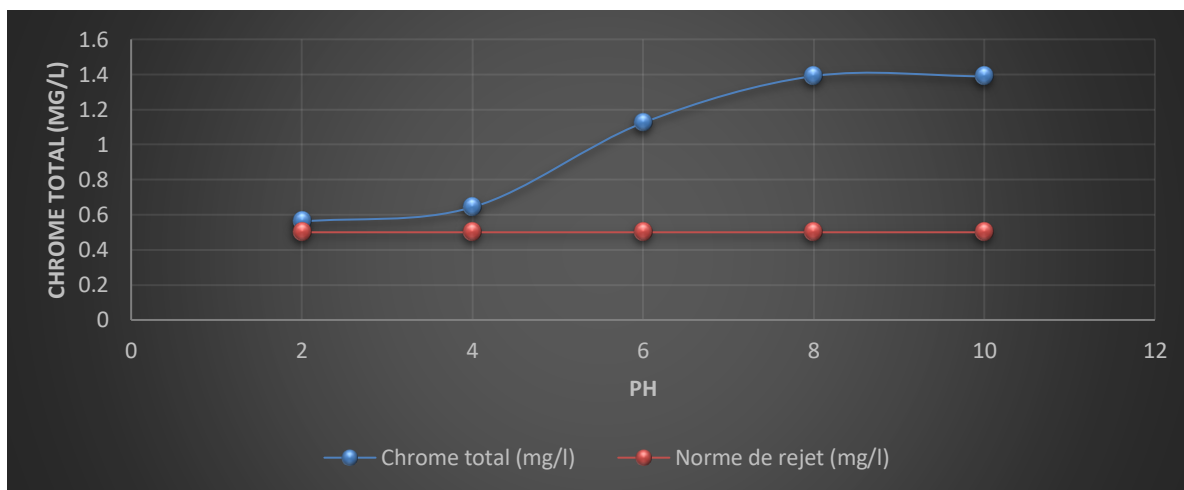


Figure.IV.27 : Effet du ph sur la concentration des ions du Cr sur le charbon actif

L'effet du Ph initial sur la concentration des ions de chrome total par le charbon actif est représenté sur le **Figure.IV.27**. Les résultats montrent d'une manière générale que lorsqu'on diminue le Ph de la solution ; la quantité du chrome diminue. En raison de la présence accrue de sites de surface protonés sur le charbon actif. Dans un environnement acide, la concentration de protons (H^+) est élevée, ce qui favorise la protonation des sites actifs de charbon actif. Ces sites protonés interagissent plus efficacement avec les ions chromate ou dichromate (CrO_4^{2-} ou $Cr_2O_7^{2-}$) présents dans la solution, améliorant ainsi l'adsorption du chrome. Par conséquent, la réactivité et l'affinité de l'adsorbant pour les ions de chrome augmentent à des Ph plus bas.

D'après les résultats obtenus un ph optimal d'adsorption est entre 2 et 4.

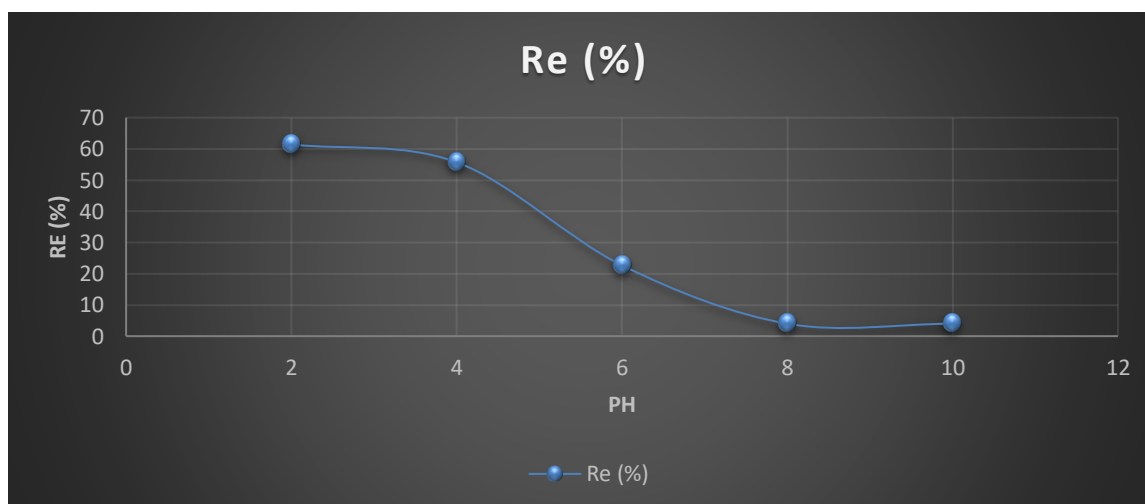


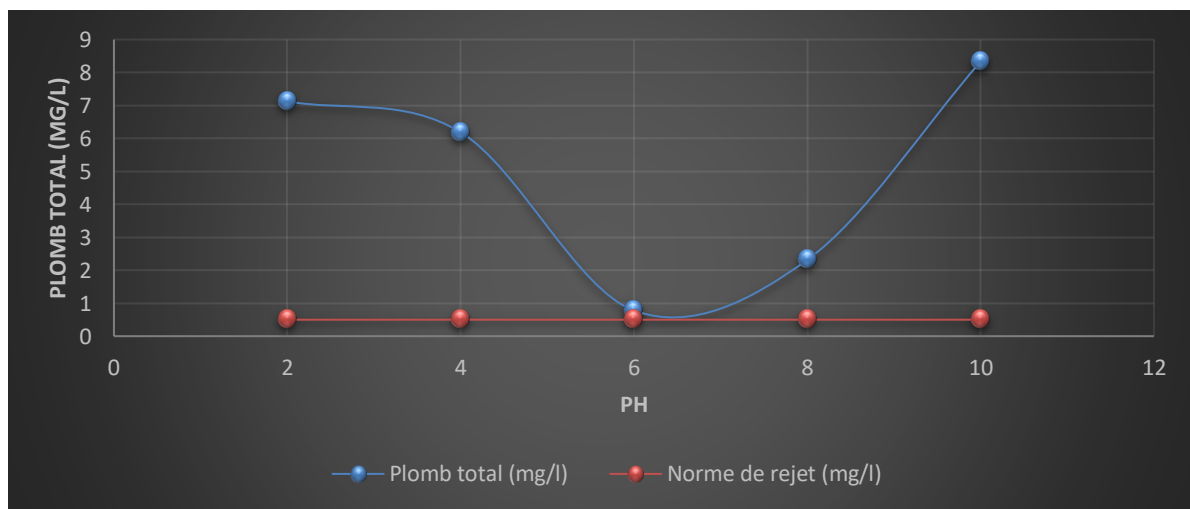
Figure.IV.28 : Effet du Ph sur le rendement d'adsorption des ions du Cr sur le CA.

Nous remarquons à travers la figure que le bon rendement d'adsorption des ions de chrome total situe à 90 minutes avec un Ph 2.

❖ Plomb totale

Tableau IV.20 : Evolution de concentration de Plomb totale en fonction de Ph

Temps (min)	90	90	90	90	90
Ph	2	4	6	8	10
Plomb total (mg/l)	7.126	6.190	0.781	2.317	8,332
Re (%)	20.5	37.9	91.3	76.7	16.4

**Figure.IV.29** : Effet du ph sur la concentration des ions du Pb sur le charbon actif

L'effet du Ph initial sur la concentration des ions de Plomb total par le charbon actif est représenté sur le **Figure.IV.29** Les résultats montrent d'une manière générale que le ph optimal pour éliminer les ions de plomb est 6, à ce ph les groupes fonctionnels à la surface de charbon actif sont principalement sous forme non ionisées, favorisant l'adsorption des cations métalliques comme le plomb par des interactions électrostatiques et de complexation.

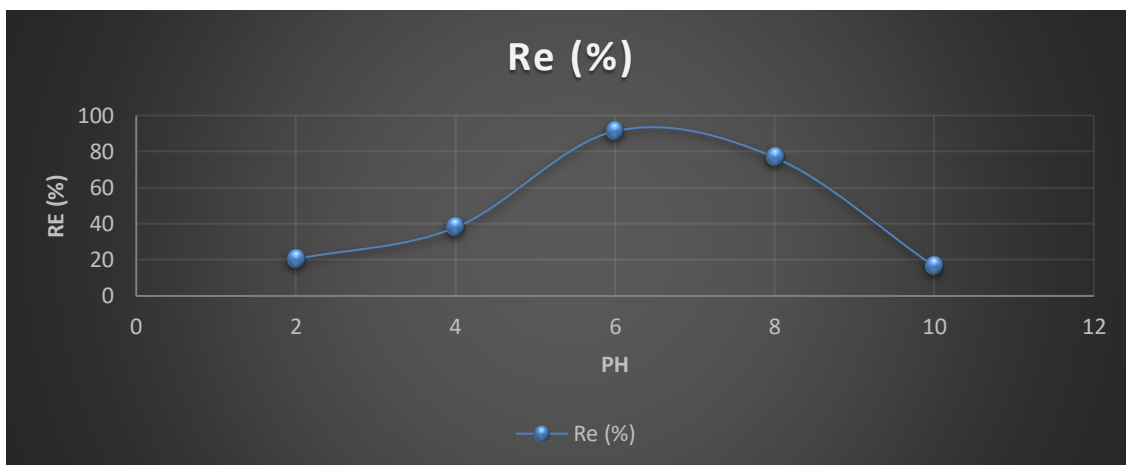


Figure.IV.30 : Effet du ph sur le rendement d'adsorption des ions du Pb sur le charbon actif

Nous remarquons à travers la figure que le bon rendement d'adsorption des ions de plomb total situe à 90 minutes avec un Ph 6.

4. Conclusion

Ce chapitre a mis en évidence l'efficacité de l'adsorption sur charbon actif pour le traitement des polluants dans les eaux usées.

En peut dire que les résultats des analyses obtenus après traitement par adsorption sur charbon actif donnent une eau pouvant être rejetée sans danger pour le milieu naturel, conformément aux normes de rejet (une faible teneur en hydrocarbures et concentration des particules en suspensions) ou bien être réutilisée à des fins industrielles.

CONCLUSION

GENERALE

En raison de la forte nocivité biologique des eaux usées, tant municipales qu'industrielles, elles doivent être traitées dans des stations d'épuration avant d'être rejetées dans le corps récepteur. En Algérie, malgré des progrès significatifs dans ce domaine, la majeure partie des eaux usées générées ne sont pas soumises aux différents processus de traitement, ou sont insuffisamment traitées avant d'être rejetées. Ce qui a conduit à l'empoisonnement de la plupart des cours d'eau naturels, les rendant dans certains tronçons des égouts morts, hors Classe.

Ce mémoire a été réalisé dans le but d'évaluer les performances des séparateurs Eau/Hydrocarbures de la station d'épuration des eaux usées industrielles de NAFTAL à Alger (Harrach AVM AC4) et plus de traiter ces eaux de manière plus efficace par adsorption sur charbon actif.

Le suivi des résultats d'analyses de certains paramètres physico-chimiques et biologiques des rejets liquides tels que : la température, le potentiel d'hydrogène, l'indice de phénols, montre de façon générale que les valeurs ne dépassent pas, à la sortie de l'installation, les valeurs limites des rejets définies par le décret exécutif n° 06-141 du 19 avril 2006 exposant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels.

Ce qui témoigne du bon fonctionnement des séparateurs. Tandis que les autres paramètres, citons-la DBO5, la DCO et certains métaux lourds comme chrome et plomb, excèdent aux normes estimées.

L'enregistrement de valeurs élevées de MES, DBO5, DCO, plomb et le chrome revient principalement au fait que la station ne dispose pas de traitement adéquat pour l'élimination de la pollution organique et des particules fines qui se comportent comme des suspensions colloïdales. En effet, un traitement chimique tel que l'adsorption sur charbon actif aurait été d'une grande efficacité.

Le Remplacement d'un séparateur de traitement des eaux par une méthode combinée d'adsorption sur charbon actif et d'oxydation avancée peut améliorer l'élimination des polluants réfractaires et améliorer la qualité de l'eau traitée. Voici les étapes et les considérations pour cette transition :

1. Analyse des Besoins et des Polluants

- Caractérisation des Polluants : Identifier les types de polluants présents dans les eaux usées (composés organiques, métaux lourds, etc.).
- Exigences de Traitement : Déterminer les normes de qualité de l'eau à atteindre après traitement.

2. Conception du Système

- Évaluation des Technologies : Comparer l'efficacité des différentes méthodes d'oxydation avancée (ozonation, Fenton, photocatalyse, etc.) et d'adsorption sur charbon actif.
- Intégration des Technologies : Planifier comment les deux méthodes sera intégrées. Typiquement, l'adsorption sur charbon actif est suivie ou précédée par une méthode d'oxydation avancée.

3. Composants du Système

- Adsorption sur Charbon Actif :
 - Réacteur à Charbon Actif : Peut-être un filtre à lit fixe ou à lit fluidisé.
 - Type de Charbon Actif : Choisir un charbon actif avec une surface spécifique élevée et une porosité adéquate pour les polluants ciblés.
- Oxydation Avancée :
 - Source de Réactifs Oxydants : Peut inclure l'ozone, le peroxyde d'hydrogène, ou des systèmes à base de rayons UV.
 - Réacteur d'Oxydation : Peut-être un réacteur à ozone, un réacteur UV, ou un réacteur Fenton.

4. Mise en Œuvre

- Phase Pilote : Mettre en place un système pilote pour évaluer la performance des technologies intégrées dans des conditions réelles.
- Évaluation des Performances : Mesurer l'efficacité de l'élimination des polluants, le taux de dégradation des contaminants organiques, et la consommation de réactifs.
- Optimisation : Ajuster les paramètres de fonctionnement tels que le débit, le dosage des réactifs, et le temps de contact.

5. Phase de Transition

- Dé commissionnement du Séparateur : Retirer progressivement le séparateur existant tout en mettant en service les nouveaux systèmes.
- Installation des Nouveaux Systèmes : Installer les réacteurs de charbon actif et d'oxydation avancée. Cela peut nécessiter des modifications de la tuyauterie et de l'infrastructure existante.
- Formation du Personnel : Former les opérateurs sur les nouvelles technologies et les procédures de maintenance.

6. Opération et Maintenance

- Surveillance Continue : Mettre en place des systèmes de surveillance pour contrôler la performance des réacteurs et la qualité de l'eau traitée.
- Maintenance Régulière : Prévoir des protocoles de maintenance pour le remplacement ou la régénération du charbon actif et la maintenance des réacteurs d'oxydation.

❖ Exemple de Configuration

1. Prétraitement : Filtration pour éliminer les particules grossières.
2. Oxydation Avancée : Utilisation de l'ozone ou d'un système UV/H₂O₂ pour dégrader les contaminants organiques complexes.
3. Adsorption sur Charbon Actif : Passage de l'eau traitée par un réacteur à charbon actif pour adsorber les polluants restants.
4. Post-traitement : Une étape de polissage si nécessaire, telle qu'une filtration supplémentaire ou une désinfection.

❖ Avantages de la Méthode Combinée

- Élimination Complète des Polluants : Capacité à éliminer des polluants réfractaires qui ne sont pas facilement dégradés par des méthodes biologiques ou physiques seules.
 - Qualité Supérieure de l'Eau : Production d'une eau traitée de haute qualité, respectant les normes les plus strictes.
 - Flexibilité : La possibilité d'ajuster les paramètres pour traiter une variété de contaminants.
- En résumé, la transition vers une méthode combinée d'adsorption sur charbon actif et d'oxydation avancée nécessite une planification minutieuse et une évaluation rigoureuse pour garantir l'efficacité et la viabilité économique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. **Jie He (2005)**. Impacts environnementaux de l'industrialisation et du commerce International en Chine : Cas de l'émission industrielle de CO₂. Thèse de doctorat.
- [2]. **(UNESCO, 2017)**
- [3]. **Grosclaude, (1999)**. L'eau, usage et polluants, 209p.
- [4]. **Boeglin, J-C., (1999)**. Lutte contre la pollution de l'eau, *édition Technique de l'ingénieur Traité environnement*, **volume G1250**, pp1-10.
- [5]. **Vilaginés, R., (2010)**. Eau, environnement et santé publique, **3eme édition**, *édition TEC & DOC* Lavoisier, paris, 217p.
- [6]. **Boeglin, J-C., Roubaty, L., (2007)**. Pollution industrielle de l'eau, *édition technique de L'ingénieur, traité dans l'environnement*, **volume G1210**, pp1-12.
- [7]. **Grosseclaude, G., (1999)**. L'eau, usages et polluants, tome 2, *édition INRA*, Paris, 203p.
- [8]. **Delporte, C., (2007)**. Traitement biologique aérobie des effluents industriels, *édition technique D'ingénieur, traité environnement*, **volume G1300** pp1-15.
- [9]. **Koller, E., (2004)**. Traitement des boues issues de l'épuration. IN « Traitement des pollutions Industrielles ». Technique et ingénierie, Dunod, Paris, 115p.
- [10]. **Gaujous, D., (1999)**. La pollution des milieux aquatique, aide-mémoire, **2ème éditions**, *édition TEC & DOC, Lavoisier*, Paris ,220p.
- [11]. **Thomas, O., (1995)**. Métrologie des eaux résiduaires, *édition Cebedoc*, 192p.
- [12]. **Vilaginés, R., (2005)**. Eau, environnement et santé publique, **2ème édition**, paris, 198p.
- [13]. **Faby J.A (1997)**. L'utilisation des eaux usées en irrigation. Office internationale de L'eau.
- [14]. **Rejsek, F. (2002)**. Analyse des eaux, aspects réglementaires et techniques, édition : Scérén CRDPA quitaine. Bordeaux.

- [15]. **DUGUET, J-P, BERNAZEAU, F, CLERET, D, GAID, A, LAPLANCHE, A, MOLES, J, MONTIEL, A, RIOU, G, SIMON, P. 2006.** Réglementation et Traitement des eaux destinées à la consommation humaine. 1ère édition. ASTEE (Association Scientifique et Technique pour l'environnement).
- [16]. **Metahri, M.S. (2012).** Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des Eaux usées traitées par des procédés mixtes : cas de la STEP est de la ville de Tizi Ouzou (Thèse doctorat). Université Mouloud Mammeri, Algérie.
- [17]. **Bordet, J., (2007).** L'eau dans son environnement rural, *édition JOHANET*, Paris, 317p.
- [18]. **Rodier, J., Legube, B., Merlet, N., (2009).** L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, **8ème édition**, DUNOD, Paris, 1526p.
- [19]. **Bremond, R. and Vuichard, R. (1973).** Paramètres de la qualité des eaux. Documentation Française, Paris, 178 p.
- [20]. **Badai-Gondard, F., (2003).** L'assainissement des eaux usées, *édition Technicité*, France, 227p.
- [21]. **Suschka, J., Ferreira, E. (1986).** Activated sludge respirometric measurements. Water Research, 20, 2, 137-144.
- [22]. **Koller, E., (2009).** Traitement des pollutions industrielles, Eau, Air, Déchets, Sols, Boues, **2ème édition**, Dunod, 569p.
- [23]. **MARTIN, G. (1987).** Point sur l'épuration et le traitement des effluents (eau, air), Phosphore, vol. 3. Édit. Technique et Documentation. Lavoisier, Paris.
- [24]. **Morin-Crini, N., Crini, G. (2017).** Eaux industrielles contaminées. Réglementation, Paramètres chimiques et biologiques et procédés d'épuration innovants.
- [25]. **Cauchi, hyvrard, Nakache, Schwartzbord, Zagury, Baron, Courtois et Denis, (1996).** Dossier de la réutilisation des eaux usées après épuration. Techniques, Sciences Et Méthodes.
- [26]. **CSHPF (1995).** Conseil supérieur d'hygiène publique de France, Paris.
- [27]. **JOCE. (1991).** Journal officiel des communautés européennes. Directive n° 91/271 du 21/05/91 relative au traitement des eaux urbaines résiduaires. N° L 135.

- [28]. **JORA. (2006).** Journal officiel de la république algérienne. Décret Exécutif n° 06-141 Du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 Avril 2006, section 1, article 3.
- [29]. **Berne, F., Cordonnier, J., (1991).** Traitement des eaux, *édition Technique*, Paris, 295 p.
- [30]. **Ballay, D., et Blais J. F. (1998).** Le traitement des eaux usées. Journal of Water Science, vol. 11, 1998, p. 77-86.
- [31]. **Satin, M., Selmi, B., (2006).** Guide technique de l'assainissement, **3ème édition le moniteur**
Référence technique, Paris, 726p.
- [32]. **Satin, M., Bourrier, R., Selmi, B., (2010).** Guide technique de l'assainissement, **4ème édition, édition le moniteur référence technique**, 775p.
- [33]. **Degrement., (1989).** Mémento technique de l'eau, **8ème édition**, tome 1&2, 1459p.
- [34]. **Degrement., (1995).** Mémento technique de l'eau ,**10ème édition**, tome 1 & 2, 1718p.
- [35]. **Desjardins, R., (1997).** Le traitement des eaux, **2ème édition polytechnique de Montréal**, 304p.
- [36]. **Lazarova V., Gaid A., Rodriguez-Gonzales J., Alday Ansola J. (2003).** L'intérêt de La réutilisation des eaux usées : analyses d'exemples mondiaux. Techniques, Sciences Et Méthodes.
- [37]. **Rajoria, S. Vashishtha M. and Sangal, V. K. (2022).** Treatment of electro plating industry wastewater: are view on the various techniques, Environ. Sci. Pollut. Res.
- [38]. **Faby J.A., Brissaud F. (1997).** L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Office Internationale de l'Eau, 76 pages.
- [39]. **Fournier, E., McGill University (2008).** Coagulation Flocculation Sédimentation des Eaux usées industrielles.
- [40]. **Berland J.M., Boutin C., Molle P & Cooper P., (2001).** Guide procédés extensifs D'épuration des eaux usées adaptés aux petites et moyennes collectivités (500-5000 éqhab) : mise en oeuvre de la directive du Conseil n° 91-271 du 21 mai 1991 relative au Traitement des eaux urbaines résiduaires. Luxembourg : Office international de l'eau, 41p.

[41]. **Vilagines R., (2003).** Eau, environnement et santé publique. Introduction à L'hydrologie, 2^e édition, Editions Tec&Doc, 198 pages.

[42]. **Henze, D.K., J.H. Seinfeld, N.L. Ng, J.H. Kroll, T.-M. Fu, D.J. Jacob, and C.L. Heald, (2008).** Global modeling of secondary organic aerosol formation from aromatic hydrocarbons: High- vs. low-yield pathways. *Atmos. Chem. Phys.*

[43]. **Pronost, J., Pronost, R., Deplat, L., Malrieu, J., Berland, J.M. (2002).** Station D'épuration : dispositions constructives pour améliorer leur fonctionnement et faciliter Leur exploitation.

[44]. **Degrement., (1978).** Mémento technique de l'eau, **8^{ème} édition**, Paris, 1200p.

[45]. **Ghoualem-Saouli, H. (2007).** Evaluation de la charge polluante, traitement biologique Des eaux urbaines de la commune de Zeralda. Conception d'un pilote. Thèse de Doctorat.

[46] **MOUMENINE, S,** *Elimination de polluants des eaux d'usines par adsorption sur Charbon de chêne en combinaison avec un désinfectant*, mémoire d'ingénieur d'état en chimie, Université Abou Bekr Belkaid – TLEMCEEN, 2011.

[47] **LOURGHI, L,** *Adsorption du furfural issue des rejets liquides de la raffinerie D'Arzew par charbon actif en poudre*, Mémoire de Master, 2014.

[48]. **B. Muzattiz, J. Gregorio.** (Dégradation de polluants organiques en phase gaz et en phase aqueuse en présence des matériaux à base d'aluminosilicate par des procédés d'oxydation avancé).

Thèse de doctorat, université de Toulouse, France, (2010)

[49]. **HELALI, S** « Application de photocatalyse pour la dégradation des polluants chimique et bactériologique dans l'eau en utilisant des catalyseurs irradiés par des photons de lumière naturelle ou artificielle (UV-A / UV-B). Autre ». Thèse de doctorat. Université Claude Bernard Lyon I, 2012.

[50]: **F.Zaviska, P.Drogui, G.Mercier, J F.Blais** « Advanced oxidation processes for waters and wastewaters treatment : Application to degradation of refractory pollutants ». *Journal of Water Science*, V 22, no 4, (2009), 461-573.

[51]: **S.Komtchou, A.Dirany, P.Drogui, P. Lafrance** « Application des procédés d'oxydation avancée pour le traitement des eaux contaminées par les pesticides ». *Revue des sciences de l'eau/journal of water science*, V 29, no 3, (2016), 241-242.

[52] : E.Guivarch « Traitement des polluants organiques en milieux aqueux par procédé électrochimique d'oxydation avancée" Electro-Fenton" : application à la minéralisation des colorants synthétiques ». Thèse de doctorat, Université de Marne-la-Vallée, (2004).

[53] : M.Haddou « Dégradation de dérivés de l'acide benzoïque par les procédés d'oxydation avancée en phase homogène et hétérogène : procédés Fenton, photo-Fenton et photocatalyse». Thèse de doctorat, Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier, (Février 2010).

[54]: H.Gaffour « Elimination du 4-Nitrophénol par des procédés d'oxydation avancée ». Thèse de doctorat, Université Abou-Bekr Belkaid, Tlemcen, (17 décembre 2016).

[55] : J C.Simon, B.Dauby, S.Nonet «Evaluation de l'efficacité de l'oxydation avancée par photocatalyse hétérogène UV/TiO₂ sur un effluent industriel contaminé par des composés organiques non biodégradables (colorants)».Revue scientifique des ISILF, V 22, (2008), 35.

[56] : D R.Merouani « Traitement de colorants azoïque et anthraquinonique par procédés d'oxydation avancée (POA) ». Thèse de doctorat, Université des sciences et technologies de Lille et Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, (03 novembre 2011).

[57] : A.Kermia « Etude des contaminants émergents des systèmes aquatiques" application aux substances pharmaceutiques dans les eaux naturelles et les eaux usées" ».Thèse de doctorat, Université des sciences et technologies Houari Boumediene USTHB, (2017).

[58]: « Genesiswatertech.com « Avantages et inconvénients du processus d'oxydation avancée ». Genesis Water Tech, (20 juin 2019).

[59] : Etude de dangers CBR et GPL el HARRACH « CRB (Aviation) » « GPL (CE) » février 2022.