

DEMOCRATIC AND POPULAR ALGERIAN REPUBLIC

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTRY OF HIGHER EDUCATION AND SCIENTIFIC RESEARCH

جامعة الشاذلي بن جديد - الطارف

CHADLI BENDJEDID EL TARTF UNIVERSITY

كلية علوم الطبيعة والحياة

FACULTY OF NATURE AND LIFE SCIENCES



قسم

Présenté en vue de l'obtention d'un Diplôme de Master en

« **Toxicologie industrielle et environnementale** »

Thème

Evaluation de la qualité des eaux usées industrielles

Présenté Par : **BOUNOUALA Khadidja Radjou**

BOUTABIA Hanane

Soutenue publiquement le : 14_06_2026

devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Mme BENJEDDOU Mouna	MCA	Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Président
Mme OUIBRAHIM Amira	MCB	Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Directeur de mémoire
Mme RAMDANI Hanane	MCB	Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Examinateur

Année universitaire : 2025/2026

Remerciements

Nous exprimons notre profonde gratitude à Dieu Tout-Puissant pour les bienfaits de la santé, de la patience, du courage et de la volonté qui nous ont permis de mener à bien ce travail.

Nous remercions également sincèrement notre encadreur, Dr **OUIBRAHIM Amira**, pour ses précieux conseils, son soutien constant et sa confiance indéfectible tout au long de la rédaction de ce mémoire. Son soutien académique et ses orientations ont été essentiels à la réalisation de cette étude.

Nous remercions également les membres du jury, Dr **BENJEDDOU Mouna** pour nous avoir accordé l'honneur de présider la soutenance et Dr **RAMDANI Hanane**, de nous avoir fait l'honneur d'examiner et d'évaluer ce travail. Nous leur sommes profondément reconnaissants de l'intérêt qu'ils lui ont porté.

Enfin, nous adressons nos sincères remerciements à l'ensemble du personnel du ****programme de maîtrise en sciences de la gestion biologique**** pour leur accueil chaleureux, leur soutien constant et leur collaboration, qui ont grandement contribué à la réalisation de ce travail.

إهداء

﴿وَأَنْ لَّيْسَ لِلْإِنْسَانِ إِلَّا مَا سَعَى ۚ وَالْإِنْسَانُ سَوْفَ يُرَى﴾

صدق الله العظيم

[سورة النجم: 39-40]

لم يكن الطريق سهلاً، ولم تكن الرحلة خالية من التحديات والصعوبات. فقد عشت خلالها لحظات من التعب والسهر والقلق، وبذلت الكثير من الجهد والصبر والإصرار للوصول إلى هذه المرحلة. كانت هناك عقبات كثيرة حاولت أن تعترض طريقي، لكن عزمي وإيماني بقدرتي على النجاح كانا أقوى من كل الصعاب.

واليوم، وبعد سنوات من الجُتهاد والمثابرة، أفق بفخر لأقطف ثمرة تعبى وسهرى، وأحمد الله الذي وفقني وأعانني على إتمام هذا العمل. وبكل مشاعر الحب والمُتّان والعرفان، أهدي هذا الإنجاز إلى الأشخاص الذين كانوا النور الذي أضاء دربي، والسند الذي منحني القوة للستمرار، والدافع الذي جعلني أؤمن بأن الأحلم تتحقق بالإرادة والعمل.

إلى نفسي...

شك ارا لأنك لم تستسلمى حين كان السُتسلم سهلاً، وشك ارا لأنك قاومت التعب والضغط وخيبات الأمل، وتمسكت بحلمك حتى أصبح حقيقة. أفتخر بك اليوم، وبكل خطوة خطوتها، وبكل ليلة سهرتها، وبكل جهد بذلته للوصول إلى هذا الإنجاز. هذا النجاح هو ثمرة صبرك وإصرارك وإيمانك بأن الوصول يستحق كل هذا العناء.

إلى خالتي العزيزة "وردة"...

إلى من كانت لي أ اما ثانية وسن ادا حقيقيا في مختلف مراحل حياتي، إلى صاحبة القلب الطيب والعطاء اللّحدود. شكرا لك على كل ما قدمته من دعم وتشجيع ودعوات صادقة رافقتني طوال مسيرتي الدراسية. كنت داي أ اما مصدر قوة وثقة وأمل، وكان لك دور كبير في نجاحي ووصولي إلى هذه المرحلة. مهما كتبت من كلمات فلن أوفيك حقك، فلك مني كل الحب والمُتّان والتقدير، وأسأل الله أن يجزيك عني خير الجزاء وأن يديم عليك الصحة والسعادة.

إلى أُمي الحبيبة...

يا منبع الحنان والعطاء، يا من سهرت الليالي وتحملت المشاق من أجل راحتي ونجاحي. كنت الدعاء الذي يرافقني في كل خطوة، والقلب الذي يحتويني في لحظات الضعف قبل القوة. لك كل الحب والوفاء والعرفان، وأسأل الله أن يحفظك ويبارك في عمرك ويجزيك عني خير الجزاء.

إلى أبي العزيز...

يا رمز التضحية والكفاح، ويا من علمتني أن النجاح ل يأتي إلّ بالعمل والصبر والجُتهاد. شكرا لك على كل ما قدمته من دعم وتوجيه وتضحيات من أجل مستقبلي. أسأل الله أن يحفظك ويديمك سن ادا وفق ارا لي مدى الحياة.

إلى خالي العزيز "سليم"...

شكرا لك على دعمك الدائم وتشجيعك المستمر، وعلى كل كلمة طيبة كان لها أثر جميل في نفسي. أسأل الله أن يديم عليك الصحة والعافية وأن يجزيك عني كل خير.

إلى خالتي العزيزة "نعمة"...

شكراا لك على محبتك واهتمامك ودعواتك الصادقة، وعلى كل ما قدمته لي من دعم ومساندة. أسأل الله أن يحفظك ويديم عليك نعمه.

إلى إخوتي وأخواتي الأعزاء: يسرى، بسمة، سجود، وكريم...

أنتم رفاق دربي وأجمل هدية أنعم الله بها عليّ، وأنتم السند الذي أستمد منه القوة والطمأنينة. شكراا لكم على محبتكم الصادقة، وعلى وقوفكم إلى جانبي في مختلف مراحل حياتي، وعلى كل كلمة تشجيع ودعم كانت سببا في رفع معنوياتي ومنحي الأمل لمواصلة الطريق.

شاركتموني لحظات التعب قبل الفرح، وكنتم خير معين لي في الأوقات الصعبة، فوجودكم في حياتي كان ولّا يزال مصدر سعادة وفخر وراحة. أشكر لكم صبركم عليّ، وتفهمكم لشغالي خلال فترة الدراسة، ودعمكم المتواصل الذي كان له أثر كبير في وصولي إلى هذه المرحلة.

هذا النجاح ليس نجاحي وحدي، بل هو نجاح لكل من آمن بي وساندني، وأنتم في مقدمة هؤلاء. أسأل الله أن يحفظكم، وأن يديم بيننا المحبة والألفة، وأن يحقق لكم كل ما تتمنونه من نجاح وسعادة.

إلى زوجة خالي الكريمة...

شكراا لك على طيبة قلبك وحسن معاملتك واهتمامك الدائم. أسأل الله أن يحزيك عني خير الجزاء وأن يديم عليك الصحة والسعادة.

إلى خطيبي العزيز "أنور"...

إلى من كان شريك أحلمي وسندي في رحلتي، إلى من جعل الطريق أخفّ، والتعب أهون، والنجاح أجمل. شكراا لأنك كنت دايّ اما بقربي، تشجعني عندما أتعب، وتساندني عندما أضعف، وتزرع في قلبي الثقة كلما شعرت بالتردد.

شكراا على صبرك واحتوائك واهتمامك الدائم، وعلى كل لحظة دعم منحتني فيها القوة للاستمرار. كنت خير رفيق في هذه الرحلة، تشاركني تفاصيلها الصغيرة قبل الكبيرة، وتؤمن بقدرتي على النجاح حتى في الأوقات التي كنت أشك فيها بنفسي.

لقد كان لوجودك في حياتي أثر جميل لّ ينسى، وكان لدعمك المتواصل دور كبير في تجاوز الصعوبات والوصول إلى هذه اللحظة التي افتخر بها اليوم. أهديك جزاء من هذا النجاح، لأنك كنت جزاء من كل خطوة أوصلتني إليه، ومن كل لحظة تعب سبقت هذا الإنجاز.

أسأل الله أن يديم بيننا المحبة والمودة والرحمة، وأن يجعل أيامنا القادمة مليئة بالفرح والنجاح والتوفيق.

إلى أساتذتي الأفاضل...

أتقدم إليكم بخالص عبارات الشكر والاحترام والتقدير على ما قدمتموه لي من علم ومعرفة وتوجيه طوال مسيرتي الجامعية. لقد كان لجهودكم وإخلاصكم الأثر الكبير في تكويني العلمي، فجزاكم الله خير الجزاء وجعل ما تقدمونه من علم في ميزان حسناتكم.

وإلى كل من ساهم من قريب أو بعيد في دعمي ومساعدتي، وإلى كل من حمل لي مشاعر المحبة الصادقة والدعاء الطيب، أهدي هذا العمل المتواضع عربون وفاء وامتنان.

والحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات

حنان

Dédicace

Avec une profonde gratitude, je dédie cet ouvrage à ceux que, malgré tous mes efforts pour exprimer mes sentiments, je ne pourrai jamais pleinement remercier pour l'amour sincère que je leur porte.

À l'homme le plus précieux à mes yeux, mon soutien et mon modèle, à qui je dois la vie, ma réussite et tout mon respect : mon père adoré, mon cher compagnon d'enfance, mon cher père, je t'aime.

À ma mère adorée, qui m'a patiemment supporté sans jamais m'abandonner, qui n'a jamais refusé mes demandes et qui n'a ménagé aucun effort pour mon bonheur : mon paradis et ce que j'ai de plus précieux au monde, ma mère adorée, Sabira.

Je prie Dieu de leur accorder une longue et heureuse vie.

À mes chères sœurs, Loujen et Soujan, à mon frère aîné, Raed, mon soutien indéfectible et mon modèle, le premier diplômé de ma famille, et à mes chers frères cadets, Wathiq et Akef, qui ont partagé avec moi chaque instant précieux de la réalisation de cet ouvrage.

Elles m'ont soutenue, encouragée et prodigué de précieux conseils tout au long de mes études. Je prie Dieu de leur accorder santé, bonheur, courage et, par-dessus tout, réussite.

Mes amies et sœurs, mes compagnes de route, la plus belle coïncidence de ma vie, le plus beau cadeau de mes années universitaires : Ikram, Najla, Rayan, et celles que je considère comme des tantes par l'amitié : ma chère tante Daniel et ma petite Juwayriya.

khadidja radjou

Résumé

Ce mémoire porte sur la caractérisation physico-chimique des eaux usées industrielles à partir d'une synthèse de plusieurs études menées dans différents secteurs industriels. L'objectif est d'évaluer la qualité des effluents et de comparer leur niveau de pollution selon la nature des activités industrielles. L'étude s'appuie sur l'analyse de plusieurs paramètres essentiels, notamment la température, le pH, la conductivité électrique, les solides dissous totaux (TDS), les matières en suspension (MES/TSS), la demande chimique en oxygène (DCO) et la demande biochimique en oxygène (DBO₅). Les résultats montrent que la température et le pH restent généralement dans les normes de rejet, traduisant des conditions relativement stables. En revanche, les paramètres liés à la pollution organique et minérale varient fortement selon les industries. Les secteurs les plus polluants sont les stations de lavage automobile, les abattoirs et les industries textiles, en raison de fortes charges en matières organiques, détergents, huiles et composés chimiques. Les industries pharmaceutiques présentent des effluents complexes, tandis que les industries plastiques sont globalement moins polluantes. L'analyse du rapport DCO/DBO₅ indique des différences de biodégradabilité entre les effluents, certains étant facilement traitables par voie biologique, alors que d'autres nécessitent des traitements avancés. Cette étude met en évidence l'influence directe de l'activité industrielle sur la qualité des eaux usées et souligne l'importance d'un traitement adapté afin de réduire l'impact environnemental et de préserver les ressources en eau.

Mots clés : Effluents industriels – Caractérisation physico-chimique – Pollution.

Abstract:

This study focuses on the physicochemical characterization of industrial wastewater through a synthesis of several scientific studies from different industrial sectors. The main objective is to evaluate effluent quality and compare pollution levels according to industrial activities. The analysis is based on key parameters including temperature, pH, electrical conductivity, total dissolved solids (TDS), total suspended solids (TSS), chemical oxygen demand (COD), and biochemical oxygen demand (BOD₅). Results show that temperature and pH generally remain within acceptable discharge standards, indicating relatively stable conditions. However, significant variations are observed in pollution-related parameters depending on the type of industry. The most polluted effluents originate from car wash stations, slaughterhouses, and textile industries due to high organic loads, detergents, oils, and chemical compounds. Pharmaceutical industries produce complex effluents, while plastic industries show comparatively lower pollution levels. The COD/BOD₅ ratio highlights differences in biodegradability, indicating that some effluents are easily treatable biologically, whereas others require advanced treatment methods. Overall, this study highlights the strong influence of industrial activities on wastewater quality and emphasizes the need for appropriate treatment strategies to reduce environmental impacts and protect water resources.

Keywords : Industrial effluents– Physicochemical characterization – Pollution.

Abstract:

الملخص

يتناول هذا البحث التوصيف الفيزيائي والكيميائي لمياه الصرف الصناعي من خلال تجميع وتحليل نتائج عدة دراسات أجريت في قطاعات صناعية مختلفة. ويهدف إلى تقييم جودة المياه العادمة ومقارنة مستويات التلوث فيها تبعاً لطبيعة الأنشطة الصناعية.

تعتمد الدراسة على تحليل مجموعة من المؤشرات الأساسية، أهمها درجة الحرارة، والرقم الهيدروجيني (pH) ، والتوصيلية الكهربائية، وإجمالي المواد الصلبة الذائبة (TDS) ، والمواد العالقة (MES/TSS) ، والطلب الكيميائي على الأكسجين (DCO) ، والطلب البيوكيميائي على الأكسجين خلال خمسة أيام (DBO₅).

أظهرت النتائج أن درجة الحرارة والرقم الهيدروجيني يبقيان عمومًا ضمن المعايير المسموح بها للتصريف، مما يعكس ظروفًا مستقرة نسبيًا. في المقابل، تختلف المؤشرات المرتبطة بالتلوث العضوي والمعدني بشكل كبير حسب نوع الصناعة. وتُعد محطات غسل السيارات، والمسالخ، والصناعات النسيجية من أكثر القطاعات تلويثًا، نظرًا لاحتوائها على كميات مرتفعة من المواد العضوية والمنظفات والزيوت والمركبات الكيميائية.

أما الصناعات الصيدلانية فتنتج مياهًا عادمة ذات تركيبة معقدة، في حين تُعتبر الصناعات البلاستيكية أقل تلويثًا بشكل عام. كما أظهر تحليل نسبة DCO/DBO₅ وجود اختلافات في قابلية التحلل البيولوجي للمياه العادمة، حيث يمكن معالجة بعض الأنواع بسهولة بواسطة المعالجة البيولوجية، بينما تتطلب أنواع أخرى تقنيات معالجة متقدمة.

وتبرز هذه الدراسة التأثير المباشر للنشاط الصناعي على جودة مياه الصرف، كما تؤكد أهمية اعتماد أنظمة معالجة ملائمة للحد من التأثيرات البيئية السلبية والحفاظ على الموارد المائية.

الكلمات المفتاحية: المياه العادمة الصناعية – التوصيف الفيزيائي والكيميائي – التلوث.

Sommaire

Résumé	
Abstract	
Liste des Abréviations	
Liste des Figures	
Liste des tableaux	
Introduction	1
Partie bibliographique	
Chapitre I : Les eaux usées industrielles	
1. Définition des eaux usées industrielles	3
2. Origine des eaux usées industrielles	3
2.1.. Industries chimiques	4
2.2. Industries pétrolières et gazières	4
2.3. Industries métallurgiques	5
2.4. Industries textiles	5
3. Types des eaux usées industrielles	5
3.1. Eaux de refroidissement	6
3.2. Eaux de lavage	6
3.3. Eaux de procédé (Process water)	7
4. Traitement des eaux usées industrielles	7
4.1. Importance du traitement des eaux usées	7
4.2. Principales étapes du traitement des eaux usées	8
4.2.1. Prétraitement des eaux usées	8
4.2.2. Dégrillage et tamisage	8
4.2.3. Dessablage	9
4.2.4. Dégraissage-déshuilage	10
4.2.5. Traitement primaire	10
4.2.6. Traitement secondaire	12
4.2.7. Traitement tertiaire	13
Chapitre II : Caractéristiques physico-chimiques des eaux usées industrielles	
1. Généralité	15
2. Paramètres physiques des eaux usées industrielles	16
2.1. Température	16
2.2. Turbidité	16
2.3. Matières en suspension (MES)	16
2.4. Conductivité électrique	17
3. Paramètres chimiques des eaux usées industrielles	17
3.1. Potentiel hydrogène (pH)	17
3.2. Oxygène dissous	18
3.3. Demande biochimique en oxygène (DBO ₅)	18
3.4. Demande chimique en oxygène (DCO)	18
3.5. Biodégradabilité	18
3.6. Azote	19
3.7. Nitrites et nitrates	19

3.8. Phosphore	19
3.9. Métaux lourds	20
4. Caractéristiques des eaux usées par secteur industriel	20
5. Normes de rejet des effluents industriels	20
Chapitre III : Impacts des eaux usées industrielles	
1. Généralité	25
2. Impacts sur l'environnement	25
2.1. Pollution des eaux de surface	25
2.2. Pollution des eaux souterraines	25
2.3. Eutrophisation des milieux aquatiques	26
2.4. Dégradation des sols	26
2.5. Pollution atmosphérique liée aux activités industrielles	27
3. Impacts sur la santé humaine	27
3.1. Maladies hydriques	27
3.2. Toxicité chronique des polluants	27
3.3. Bioaccumulation et biomagnification	27
4. Types de pollution industrielle	28
5. Origine et causes de la pollution industrielle	28
Matériel et Méthodes	
1. Nature de l'étude	29
2. Sélection des articles	29
3. Paramètres étudiés	30
4. Collecte et traitement des données	31
5. Analyse comparative des résultats	31
Résultats et discussion	
1. Température	32
2. pH	34
3. Demande chimique en oxygène (DCO/COD)	35
4. Solides dissous totaux (TDS)	36
5. Demande biochimique en oxygène (DBO ₅)	38
6. Conductivité électrique (EC)	39
7. Matières en suspension (TSS)	41
8. Comparaison globale des caractéristiques physico-chimiques selon le type d'industrie	42
Conclusion générale	45
Références bibliographiques	
Annexes	

Abréviation

DBO₅ Demande Biochimique en Oxygène sur 5 jours

DCO. Demande Chimique en Oxygène

MES Matières En Suspension

TSS Total Suspended Solids (Matières en Suspension Totales)

TDS. Total Dissolved Solids (Solides Dissous Totaux)

EC. Electrical Conductivity (Conductivité Électrique)

pH Potentiel Hydrogène

COD Chemical Oxygen Demand (Demande Chimique en Oxygène)

BOD₅ Biochemical Oxygen Demand (Demande Biochimique en Oxygène sur 5 jours)

NO₂⁻ Nitrites

NO₃⁻ Nitrates

Pb. Plomb

Cd. Cadmium

Cr. Chrome

Cu. Cuivre

Zn. Zinc

Ni. Nickel

Hg. Mercure

CO₂ Dioxyde de carbone

NO_x. Oxydes d'azote

SO₂ Dioxyde de soufre

OMS. Organisation Mondiale de la Santé

WHO. World Health Organization

UNESCO. Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, la Science et la Culture

PNUE. Programme des Nations Unies pour l'Environnement

UNEP. United Nations Environment Programme

Liste des Figures

N° Figure	Titre	N° Page
01	Représentation schématique d'une station d'épuration	8
02	Dégrilleur manuel à grille oblique	9
03	Dessableur – Dégraisseur*	10
04	Eutrophisation des milieux aquatiques	26
05	Température moyenne des eaux usées industrielles	32
06	Les valeurs des solides dissous totaux (TDS)	37
07	Comparaison de la conductivité électrique des eaux usées selon le type d'industrie	40

Liste des Tableaux

N° Figure	Titre	N° Page
01	Contenu des eaux usées types dans certaines grandes industries.	21
02	Valeurs limites des paramètres physico-chimiques	23
03	Présentation des études scientifiques retenues pour l'analyse comparative des caractéristiques physico-chimiques des eaux usées industrielles.	29
04	Température des eaux usées industrielles rapportée dans les études sélectionnées.	32
05	Valeurs de ph enregistrés dans les différentes industries.	34
06	Valeurs des COD rapportées	35
07	Récapitulatif de la DBO ₅ des eaux usées industrielles	38
08	Récapitulatif de la conductivité électrique (EC)	39
09	Valeurs des matières en suspension (TSS)	41
10	Valeurs des matières en suspension (TSS)	42

Introduction

INTRODUCTION

Introduction générale

L'eau constitue une ressource naturelle indispensable à la vie et au développement des activités humaines. Elle intervient dans de nombreux secteurs tels que l'agriculture, l'industrie, la production d'énergie et les usages domestiques. Cependant, l'augmentation de la population mondiale, l'urbanisation croissante et l'essor des activités industrielles exercent une pression de plus en plus importante sur les ressources hydriques, tant sur le plan quantitatif que qualitatif (UNESCO, 2023).

Parmi les principales sources de dégradation de la qualité des eaux, les rejets industriels occupent une place prépondérante. Les activités industrielles génèrent d'importants volumes d'eaux usées contenant des substances organiques, minérales et parfois toxiques susceptibles de perturber les écosystèmes aquatiques. La composition de ces effluents varie considérablement selon le type d'industrie concerné, les matières premières utilisées ainsi que les procédés de fabrication mis en œuvre.

Les eaux usées industrielles peuvent renfermer des charges élevées en matières en suspension, en solides dissous, en composés organiques biodégradables ou réfractaires, ainsi qu'en sels minéraux et en produits chimiques divers. Leur rejet sans traitement adéquat peut entraîner une diminution de la qualité des eaux de surface et souterraines, une perturbation des équilibres biologiques des milieux récepteurs, ainsi que des risques sanitaires et environnementaux importants (Metcalf & Eddy, 2014 ; Tchobanoglous et al., 2014).

Afin d'évaluer le niveau de pollution des effluents industriels, plusieurs paramètres physico-chimiques sont couramment utilisés. Parmi les plus importants figurent la température, le potentiel hydrogène (pH), la conductivité électrique (EC), les matières en suspension (MES/TSS), les solides dissous totaux (TDS), la demande chimique en oxygène (DCO/COD) et la demande biochimique en oxygène sur cinq jours (DBO₅/BOD₅). Ces indicateurs permettent de caractériser la qualité des eaux usées, d'estimer leur impact potentiel sur l'environnement et de définir les traitements nécessaires avant leur rejet.

Dans ce contexte, l'étude comparative des caractéristiques physico-chimiques des eaux usées industrielles représente un outil essentiel pour mieux comprendre les différences existant

INTRODUCTION

entre les divers secteurs d'activité et identifier les principales sources de pollution. L'exploitation des données publiées dans la littérature scientifique permet également de mettre en évidence les paramètres les plus critiques et d'évaluer leur conformité vis-à-vis des normes environnementales en vigueur.

Le présent mémoire a pour objectif de réaliser une synthèse bibliographique des principales caractéristiques physico-chimiques des eaux usées industrielles à travers l'analyse comparative de plusieurs études nationales et internationales. Cette étude vise à comparer les valeurs des différents paramètres de qualité des effluents industriels, à identifier les secteurs les plus polluants et à mettre en évidence les impacts potentiels de ces rejets sur l'environnement.

Pour atteindre cet objectif, le mémoire est structuré en trois parties principales. La première présente une synthèse bibliographique sur les eaux usées industrielles et les principaux paramètres de caractérisation physico-chimique. La deuxième décrit la méthodologie adoptée pour la sélection et l'analyse des études retenues. Enfin, la troisième partie est consacrée à la présentation, à l'analyse et à la discussion comparative des résultats obtenus à partir des différentes publications scientifiques étudiées.

Partie Théorique

Chapitre I : Les eaux usées industrielles

1. Définition des eaux usées industrielles

Les eaux usées industrielles sont des eaux résiduaires issues des différentes activités industrielles telles que la fabrication, le lavage des équipements, le refroidissement des installations, le transport des matières premières ainsi que les procédés de transformation. Après leur utilisation, ces eaux deviennent chargées en substances polluantes et sont rejetées sous forme d'effluents industriels (Metcalf & Eddy, 2014).

Contrairement aux eaux usées domestiques, les eaux usées industrielles présentent une composition très variable selon le type d'industrie, les matières premières utilisées et les procédés de fabrication employés. Elles peuvent contenir des polluants organiques, minéraux ou toxiques tels que les matières en suspension (MES), les hydrocarbures, les huiles, les solvants, les métaux lourds, les acides, les bases ainsi que diverses substances chimiques susceptibles d'altérer la qualité des ressources hydriques et des écosystèmes aquatiques (Tchobanoglous *et al.*, 2014).

Les eaux usées industrielles proviennent de plusieurs secteurs industriels, ainsi chaque activité industrielle génère des effluents ayant des caractéristiques physico-chimiques spécifiques, ce qui nécessite des méthodes d'analyse et de traitement adaptées (UNESCO, 2024).

Les eaux usées industrielles constituent aujourd'hui une source majeure de pollution des eaux superficielles et souterraines. Les rejets non traités peuvent provoquer une diminution de l'oxygène dissous, une modification du pH, une augmentation de la turbidité ainsi qu'une contamination par des substances toxiques pouvant affecter la faune, la flore et la santé humaine (UN-Water, 2024).

2. Origine des eaux usées industrielles

Les eaux usées industrielles sont issues de diverses activités de production et de transformation. Leur origine est directement liée à la nature des procédés industriels, aux matières premières utilisées ainsi qu'aux produits finis générés. Elles constituent une source

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

importante de pollution hydrique en raison de leur charge élevée en substances chimiques, organiques et métalliques (Metcalf & Eddy, 2014).

De manière générale, les principales sources des eaux usées industrielles peuvent être classées selon les secteurs d'activité suivants :

2.1. Industries chimiques

Les industries chimiques représentent une source majeure d'eaux usées industrielles fortement polluées. Les effluents générés contiennent généralement des acides, des bases, des solvants organiques ainsi que diverses substances toxiques et persistantes. On y retrouve également des composés tels que les nitrates, les phosphates, les pesticides, les médicaments (humains et vétérinaires), les produits ménagers, les peintures ainsi que certains métaux lourds comme le mercure, le cadmium, le plomb et l'arsenic.

Ces substances proviennent des procédés de synthèse chimique et de transformation industrielle et constituent une menace importante pour les milieux aquatiques en raison de leur toxicité et de leur faible biodégradabilité (CIEAU, 2023).

2.2. Industries pétrolières et gazières

Les eaux usées émanant des industries pétrolières et gazières sont caractérisées par une forte teneur en hydrocarbures, huiles, phénols et polyphénols. Ces composés rendent les effluents particulièrement polluants et nécessitent des traitements spécifiques, notamment des procédés de déshuilage avant toute étape de traitement biologique.

La présence d'hydrocarbures dans les rejets industriels constitue un risque majeur pour les écosystèmes aquatiques, en raison de leur toxicité et de leur persistance dans l'environnement (MITA Water Technologies, 2023).

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

2.3. Industries métallurgiques

Les industries métallurgiques et lourdes génèrent des eaux usées contenant des concentrations élevées en métaux lourds tels que le plomb, le mercure et le cadmium. Ces éléments sont hautement toxiques et peuvent s'accumuler dans les organismes vivants, provoquant des effets néfastes à long terme sur la santé humaine et l'environnement.

En plus des métaux lourds, ces effluents peuvent contenir des huiles, des produits chimiques industriels, des colorants et des boues métalliques, contribuant ainsi à la pollution des eaux de surface et souterraines (Eurofins Biomnis, 2024).

2.4. Industries textiles

L'industrie textile est également une source importante de pollution hydrique. Les eaux usées provenant de ce secteur contiennent principalement des colorants non fixés, des agents de finition, des solvants organiques, du formaldéhyde, des hydrocarbures ainsi que des métaux lourds.

Ces rejets sont responsables de la coloration des eaux naturelles et peuvent avoir des effets toxiques sur les organismes aquatiques ainsi que sur la santé humaine. Leur traitement est complexe et coûteux en raison de la diversité des composés chimiques présents (ILOCIS, 2022).

3. Types des eaux usées industrielles

Les eaux usées industrielles peuvent être classées selon les activités industrielles, les procédés de production ainsi que leur niveau de pollution. Leur composition varie fortement en fonction du secteur industriel concerné et des technologies utilisées (Metcalf & Eddy, 2014).

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

De manière générale, on distingue plusieurs types d'eaux usées industrielles selon leur origine et leur fonction dans les procédés industriels.

3.1. Eaux de refroidissement

Les eaux de refroidissement sont utilisées pour abaisser la température des équipements industriels, des machines ou des réacteurs. Elles sont généralement peu contaminées chimiquement, mais peuvent présenter une élévation de température, ce qui peut entraîner une pollution thermique lorsqu'elles sont rejetées dans le milieu naturel.

Ce type d'eau est fréquemment utilisé dans les centrales électriques, les raffineries et les industries lourdes (UNEP, 2023).

3.2. Eaux de lavage

Les eaux de lavage proviennent des opérations de nettoyage des équipements, des sols industriels et des installations de production. Elles contiennent généralement des détergents, des solvants, des huiles ainsi que des matières en suspension.

Ces eaux sont souvent chargées en polluants organiques et chimiques, ce qui nécessite un traitement approprié avant leur rejet (Metcalf & Eddy, 2014).

3.3. Eaux de procédé (Process water)

Les eaux de procédé sont directement utilisées dans les processus de fabrication industrielle. Elles constituent les eaux les plus fortement polluées, car elles entrent en contact direct avec les matières premières et les produits chimiques.

Elles peuvent contenir des composés organiques, des métaux lourds, des acides, des bases et divers sous-produits de réaction. Leur traitement est indispensable avant tout rejet ou réutilisation (Tchobanoglous *et al.*, 2014).

4. Traitement des eaux usées industrielles

4.1. Importance du traitement des eaux usées

Le traitement des eaux usées constitue une étape essentielle dans la protection de l'environnement et la préservation des ressources en eau. Son principal objectif est de réduire ou d'éliminer les substances polluantes présentes dans les effluents avant leur rejet dans le milieu naturel, contribuant ainsi à la sauvegarde des écosystèmes et à la protection de la santé publique (Ballay et Blais, 1998).

Les eaux usées, qu'elles soient d'origine domestique ou industrielle, peuvent contenir de nombreux contaminants susceptibles d'altérer la qualité des milieux récepteurs. Pour cette raison, elles doivent être soumises à des traitements appropriés au sein de stations d'épuration afin de limiter leur impact sur l'environnement. De plus, les établissements industriels rejetant leurs effluents dans les réseaux d'assainissement ou directement dans les eaux de surface sont tenus de respecter les normes réglementaires en vigueur. Dans de nombreux cas, un prétraitement ou un traitement spécifique des effluents est nécessaire au niveau de l'unité industrielle avant leur évacuation.

Le respect de ces exigences réglementaires permet non seulement de réduire les risques de pollution, mais également d'assurer une gestion durable des ressources hydriques. Toutefois, certaines entreprises peuvent être confrontées à des contraintes économiques qui limitent leurs investissements dans les systèmes de traitement. Cette situation peut conduire à des rejets insuffisamment traités, engendrant des conséquences néfastes sur les écosystèmes aquatiques et la qualité de l'environnement (UNESCO, 2017).

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

4.2. Principales étapes du traitement des eaux usées

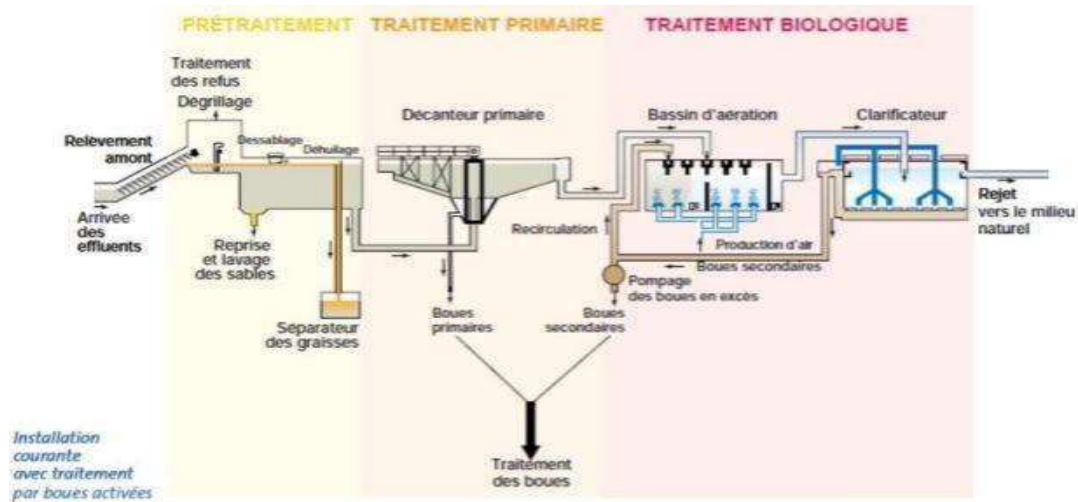


Figure 1 : Représentation schématique d'une station d'épuration (Mahmoud bali , 2025)

4.2.1. Prétraitement des eaux usées

Le prétraitement constitue la première phase du traitement des eaux usées. Sa mise en œuvre dépend de la nature des effluents à traiter ainsi que des procédés d'épuration prévus dans les étapes ultérieures. Cette étape repose principalement sur des opérations physiques et mécaniques visant à éliminer les éléments grossiers susceptibles de perturber le fonctionnement des installations de traitement. Elle permet notamment de retenir les matières de grande taille ou les déchets susceptibles d'endommager les équipements ou de réduire l'efficacité des traitements réalisés en aval (Metahri, 2012).

4.2.2. Dégrillage et tamisage

Le dégrillage et le tamisage sont des opérations destinées à retenir les déchets solides présents dans les eaux usées. Lors de leur passage à travers des grilles ou des tamis, les effluents sont débarrassés des matériaux volumineux tels que les morceaux de bois, les plastiques, les chiffons et autres déchets flottants. Les résidus collectés sont ensuite nettoyés, compactés puis évacués vers des filières adaptées de traitement ou d'élimination. Après cette étape, les eaux

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

prétraitées sont dirigées vers les unités suivantes, notamment le dessablage, afin de poursuivre l'élimination des matières indésirables (Legube, 1996).



Figure 2 : Dégrilleur manuel à grille oblique*[14]

4.2.3. Dessablage

Le dessablage est une opération physique qui vise à éliminer des eaux usées les particules minérales lourdes, telles que le sable, les graviers et autres matières inertes de granulométrie relativement importante (généralement supérieure à 200 μm). Cette séparation s'effectue par décantation gravitaire dans un ouvrage spécifique appelé dessableur, où la vitesse d'écoulement de l'eau est réduite afin de favoriser le dépôt des particules au fond du bassin.

Les matériaux accumulés sont ensuite récupérés par des systèmes de pompage ou d'aspiration, puis soumis à des opérations de lavage et d'égouttage afin de réduire leur teneur en matières organiques. Selon leur qualité après traitement, les sables extraits peuvent être orientés vers des centres d'enfouissement ou faire l'objet d'une valorisation dans certains domaines d'application (Satin et Selmi, 2010).

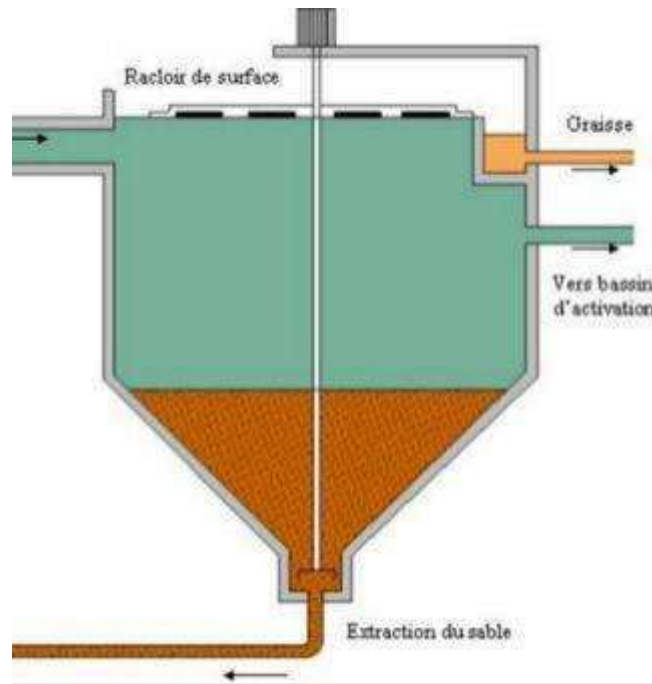


Figure 3 : Dessableur – Dégraisseur (Anonyme 1)

4.2.4. Dégraissage-déshuilage

Le dégraissage-déshuilage est une étape de prétraitement visant à éliminer les huiles et graisses présentes dans les eaux usées. Ces substances, plus légères que l'eau, sont séparées par flottation naturelle ou assistée par injection d'air, puis récupérées en surface à l'aide de racleurs. Cette opération permet de limiter les perturbations des traitements biologiques en aval et d'améliorer leur efficacité, avec des rendements pouvant atteindre 80 à 90 % (Vandermeersch, 2006).

4.2.5. Traitement primaire

➤ Coagulation-floculation

La coagulation-floculation est une étape du traitement primaire qui vise à destabiliser les particules en suspension dans l'eau. Elle consiste à ajouter des coagulants afin de neutraliser les charges électriques des colloïdes, facilitant ainsi leur agrégation.

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

Après cette neutralisation, les particules fines s'assemblent pour former des microflocs, encore trop petits pour être visibles, puis des flocs plus volumineux susceptibles de se déposer par gravité. Une agitation rapide est nécessaire pour assurer une bonne dispersion du coagulant et favoriser les collisions entre particules, tandis qu'un mélange insuffisant peut réduire l'efficacité du processus (Desjardins, 1997 ; Lazarova *et al.*, 2003).

La floculation est une étape qui suit la coagulation et consiste en un mélange lent de l'eau afin de favoriser la croissance des particules formées. Elle permet aux microflocs de s'agréger progressivement pour former des flocs de taille plus importante, visibles et plus facilement séparables.

Lorsque les flocs atteignent une taille et une résistance suffisantes, l'eau peut alors être orientée vers une étape de séparation solide-liquide telle que la sédimentation, la flottation ou la filtration.

➤ **Décantation**

La décantation est une étape largement utilisée dans les stations d'épuration, permettant la séparation des matières en suspension et des flocs dont la densité est supérieure à celle de l'eau. Ce procédé repose sur la gravité et assure la séparation continue des phases solide et liquide.

Les particules se déposent progressivement au fond du bassin de décantation, où elles sont ensuite collectées et évacuées périodiquement. L'eau clarifiée en surface est dirigée vers les étapes suivantes du traitement. L'efficacité de ce procédé dépend principalement du temps de séjour et de la vitesse ascensionnelle de l'eau (Faby et Brissaud, 1997).

➤ **Filtration**

La filtration constitue une étape de finition du traitement, au cours de laquelle l'effluent clarifié est passé à travers un média filtrant, tel qu'un filtre à base de polyester de faible porosité (environ 10 μm). Ce procédé permet de retenir les particules résiduelles, améliorant ainsi la qualité de l'eau traitée.

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

Les matières accumulées à la surface des filtres sont éliminées de manière périodique par lavage à contre-courant, puis renvoyées en tête de station pour un nouveau traitement. La filtration contribue également à réduire la turbidité, la coloration ainsi qu'une partie de la charge microbienne (Desjardins, 1997).

4.2.6. Traitement secondaire

Les eaux usées contenant des matières organiques biodégradables sont traitées par des procédés biologiques reposant sur l'activité des micro-organismes. Ces procédés s'inspirent des mécanismes naturels d'autoépuration observés dans les milieux aquatiques et terrestres.

Selon les conditions de développement des micro-organismes, on distingue principalement deux types de traitements biologiques :

➤ **Traitement biologique anaérobie**

Ce procédé se déroule en absence totale d'oxygène dissous. Il repose sur l'action de bactéries anaérobies qui assurent la dégradation des matières organiques par des processus de fermentation (Berland *et al.*, 2001).

Ce type de traitement est généralement plus adapté à certaines eaux usées domestiques ou fortement chargées en matière organique, tandis que les effluents industriels peuvent parfois présenter une toxicité

➤ **Traitement biologique aérobie**

Le traitement biologique aérobie repose sur l'activité de micro-organismes aérobies qui se développent en présence d'oxygène dissous. La dégradation des polluants organiques s'effectue par des réactions d'oxydation, conduisant à la formation de composés simples tels que le dioxyde de carbone et l'eau (Berland *et al.*, 2001).

➤ **Systèmes à boues activées**

Le procédé des boues activées est une technique de traitement biologique aérobie largement utilisée. Il repose sur la formation de floccs microbiens en suspension qui dégradent la matière organique par des processus d'oxydation.

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

Un clarificateur secondaire permet ensuite de séparer les boues de l'eau traitée. Les boues excédentaires sont évacuées ou traitées, tandis que l'eau clarifiée peut être rejetée ou réutilisée (Henze et al., 2008).

➤ Lits bactériens

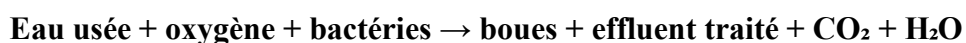
Les lits bactériens sont un procédé de traitement biologique aérobie à cultures fixées, dans lequel les micro-organismes se développent sur un matériau support poreux, généralement constitué de pierres ou de matériaux synthétiques.

Les eaux usées préalablement décantées sont réparties à la surface du lit et s'écoulent par gravité à travers le média, tandis que l'air circulant assure l'apport en oxygène nécessaire à l'activité microbienne. Les bactéries fixées dégradent ainsi la matière organique dissoute, ce qui permet de réduire la charge polluante, notamment la DBO.

➤ Lagunage

Le lagunage est un procédé naturel de traitement biologique des eaux usées basé sur des bassins peu profonds appelés bassins de stabilisation. Dans ces ouvrages, les phénomènes naturels de dégradation sont assurés par une biomasse qui transforme la matière organique présente dans les effluents.

Le processus d'épuration peut être résumé par la réaction suivante (Ghoualem-Saouli, 2007) :



4.2.7. Traitement tertiaire

Le traitement tertiaire est une étape complémentaire mise en œuvre lorsque des exigences élevées de qualité de l'eau sont nécessaires avant le rejet dans le milieu naturel. Il peut inclure différentes techniques telles que l'ozonation, l'exposition aux rayons UV ou encore la filtration sur sable, notamment pour les stations de faible capacité. Cette étape permet d'éliminer les résidus de matières organiques et d'améliorer la qualité microbiologique de l'effluent.

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

Le traitement tertiaire peut également comprendre plusieurs procédés, notamment la désinfection par le chlore ou l’ozone afin d’éliminer les micro-organismes pathogènes, ainsi que des traitements physico-chimiques permettant la précipitation de certains métaux dissous par ajustement du pH (Pouliot et De la Noüe, 1985).

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre II : Caractéristiques physico-chimiques des eaux usées industrielles

1. Généralité

Les eaux usées industrielles constituent l'une des principales sources de pollution des milieux aquatiques en raison de leur composition complexe et de leur forte charge en substances organiques, minérales et toxiques. Les rejets industriels peuvent contenir différents polluants susceptibles d'altérer les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des eaux réceptrices (Metcalf & Eddy, 2014).

L'évaluation de la qualité des eaux usées industrielles repose principalement sur l'étude de plusieurs paramètres physico-chimiques permettant d'apprécier le degré de pollution des effluents et leur impact potentiel sur l'environnement. Ces paramètres constituent des indicateurs essentiels pour le contrôle de la qualité des eaux, le suivi des procédés de traitement et le respect des normes environnementales imposées avant le rejet dans le milieu naturel (Rodier *et al.*, 2009).

Les analyses physico-chimiques permettent également d'évaluer l'efficacité des traitements appliqués aux effluents industriels et d'identifier les risques liés à la présence de substances toxiques ou difficilement biodégradables.

Les principaux paramètres étudiés concernent notamment la température, le potentiel hydrogène (pH), la turbidité, les matières en suspension, la conductivité électrique, l'oxygène dissous, la demande biochimique en oxygène (DBO5), la demande chimique en oxygène (DCO), ainsi que certains éléments nutritifs tels que l'azote et le phosphore (Tchobanoglous *et al.*, 2014).

L'analyse de ces paramètres constitue une étape indispensable dans la gestion des eaux usées industrielles, car elle permet d'évaluer leur niveau de pollution, de prévenir les impacts environnementaux et de garantir la protection des ressources hydriques.

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

2. Paramètres physiques des eaux usées industrielles

2.1. Température

La température représente un paramètre important dans l'étude de la qualité des eaux usées industrielles. Elle influence directement les propriétés physiques, chimiques et biologiques de l'eau. Une élévation de la température peut modifier la solubilité des gaz, notamment celle de l'oxygène dissous, accélérer les réactions chimiques et favoriser le développement de certains microorganismes (Rodier *et al.*, 2009), accroît le taux d'activité microbienne et diminue la résistance aux maladies, et qu'il peut devenir un obstacle à la migration des poissons; affecter sérieusement la reproduction des espèces (Lokhande *et al.*, 2012).

Dans les effluents industriels, la température varie selon les procédés de fabrication utilisés, particulièrement dans les industries chimiques, métallurgiques et énergétiques où les eaux de refroidissement sont abondamment utilisées.

2.2. Turbidité

La turbidité traduit la diminution de la transparence de l'eau due à la présence de particules en suspension telles que les argiles, les matières organiques, les microorganismes ou les résidus industriels. Elle constitue un indicateur important de la qualité des eaux usées industrielles (Rejsek, 2002).

La turbidité peut sérieusement affecter la qualité de l'eau dans de nombreuses conditions, comme la réduction de la quantité de lumière reçue pour la croissance des plantes, Partie I Chapitre I : Synthèse bibliographique sur la pollution produite par l'industrie du textile 5 et l'endommagement des structures sensibles des branchies chez les poissons et les organismes aquatiques (Abu Bakar *et al.*, 2020).

2.3. Matières en suspension (MES)

Les matières en suspension représentent l'ensemble des particules solides non dissoutes présentes dans l'eau. Elles peuvent être d'origine organique ou minérale et proviennent principalement des procédés industriels, du lavage des équipements ou du transport des matières premières.

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

Une concentration élevée en MES traduit généralement un degré important de pollution et peut entraîner le colmatage des réseaux d'assainissement ainsi qu'une dégradation des milieux aquatiques (Metahri, 2012).

2.4. Conductivité électrique

La conductivité électrique mesure la capacité de l'eau à conduire le courant électrique en fonction de la concentration en ions dissous. Elle permet d'évaluer le degré de minéralisation des eaux usées industrielles (Zeghoud, 2014).

Une conductivité élevée indique généralement une forte concentration en sels minéraux ou en substances ioniques provenant des rejets industriels tels que les chlorures, les sulfates ou les nitrates. si les niveaux de conductivité sont élevés, de nombreuses formes de vie aquatique sont affectées, comme la déshydratation de la peau des animaux due aux sels dissous (Abu Bakar *et al.*, 2020). Les valeurs élevées de conductivité électrique dans les eaux sont néfastes pour la croissance des plantes (peut provoquer un stress osmotique au niveau de la zone racinaire des plantes, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau par la plante pour sa croissance (Manikandan *et al.*, 2015), ils affectent la structure du sol, la perméabilité et l'irrigation. Ces effets négatifs, connus sous le nom de risque de salinité, affectent considérablement la croissance des plantes et le rendement des cultures (Mohabansi *et al.*, 2011).

3. Paramètres chimiques des eaux usées industrielles

3.1. Potentiel hydrogène (pH)

Le potentiel hydrogène, noté pH, représente la concentration des ions hydrogène présents dans l'eau et permet de déterminer son caractère acide, neutre ou basique. Plus le pH est faible, plus la solution est acide, et plus le pH est élevé, plus la solution est basique (ou alcaline).

Le pH constitue un paramètre essentiel dans l'analyse des eaux usées industrielles, car il influence les réactions chimiques, la solubilité des métaux et l'activité biologique des microorganismes (OMS, 2017). Cependant, le déséquilibre du pH de l'effluent peut perturber les systèmes tampons et le système écologique (Abu Bakar *et al.*, 2020; Mohabansi *et al.*, 2011).

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

3.2. Oxygène dissous

L'oxygène dissous est indispensable à la vie des organismes aquatiques et au déroulement des réactions biologiques dans l'eau. Sa concentration dépend principalement de la température, de la pression et de la présence de matières organiques biodégradables (Rejsek, 2002).

Une diminution de l'oxygène dissous traduit généralement une forte pollution organique des eaux usées industrielles.

3.3. Demande biochimique en oxygène (DBO5)

La demande biochimique en oxygène sur cinq jours (DBO5) correspond à la quantité d'oxygène nécessaire aux microorganismes pour dégrader la matière organique biodégradable présente dans l'eau pendant une période de cinq jours à 20 °C (Xanthoulis, 1993).

La DBO5 constitue un indicateur important du niveau de pollution organique biodégradable des eaux usées industrielles.

3.4. Demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) représente la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder chimiquement l'ensemble des matières organiques et minérales oxydables présentes dans l'eau (Devillers et al., 2005).

La DCO permet d'évaluer la charge polluante totale des effluents industriels, notamment lorsque ceux-ci contiennent des substances difficilement biodégradables.

3.5. Biodégradabilité

La biodégradabilité traduit la capacité des matières organiques présentes dans les eaux usées à être décomposées par les microorganismes. Elle est généralement évaluée par le rapport DCO/DBO5 (Ramade, 1989).

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

La biodégradabilité est exprimée par un coefficient K tel que $K = DCO/DBO_5$.

(Ramade.F.1989)

- Si $k < 1,5$: cela signifie que les matières oxydables sont constituées en grande partie de matières fortement biodégradable ;
- Si $1,5 < K < 2,5$: cela signifie que les matières oxydables sont moyennement Biodégradables.
- Si $2,5 < K < 3$: les matières oxydables sont peu biodégradables.
- Si $K > 3$: les matières oxydables sont non biodégradables (Metahri, 2012).

3.6. Azote

L'azote présent dans les eaux usées industrielles peut exister sous forme organique ou minérale. Il provient principalement des rejets industriels, des produits chimiques et des matières organiques (Rodier *et al.*, 2005).

Une concentration excessive en azote favorise les phénomènes d'eutrophisation des milieux aquatiques.

3.7. Nitrites et nitrates

Les nitrites (NO_2^-) et les nitrates (NO_3^-) représentent différentes formes de l'azote minéral présentes dans l'eau. Les nitrates constituent le produit final de l'oxydation de l'azote organique tandis que les nitrites représentent une forme intermédiaire (Rodier *et al.*, 2009).

Des teneurs élevées en nitrates et nitrites peuvent perturber l'équilibre biologique des écosystèmes aquatiques.

3.8. Phosphore

Le phosphore est un élément nutritif présent dans les eaux usées industrielles sous forme organique ou minérale. Il provient principalement des détergents, des produits chimiques et de certaines activités industrielles (Rejsek, 2002).

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

Le rejet excessif du phosphore dans le milieu naturel favorise la prolifération des algues et contribue au phénomène d'eutrophisation.

3.9. Métaux lourds

Les métaux lourds constituent une catégorie importante de polluants présents dans les eaux usées industrielles. Ils proviennent de diverses activités industrielles. Parmi les métaux lourds les plus fréquemment rencontrés figurent le plomb (Pb), le chrome (Cr), le cadmium (Cd), le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le nickel (Ni) et le mercure (Hg).

La présence de ces éléments dans les effluents industriels représente une préoccupation majeure en raison de leur persistance dans l'environnement, de leur faible biodégradabilité et de leur capacité à s'accumuler dans les organismes vivants. Certains métaux, tels que le cuivre et le zinc, sont indispensables au fonctionnement biologique des organismes lorsqu'ils sont présents à de faibles concentrations. Toutefois, des teneurs élevées peuvent provoquer des effets toxiques importants et perturber les processus physiologiques des plantes, des animaux et de l'être humain.

Le cadmium, le plomb et le mercure figurent parmi les métaux les plus toxiques. Leur accumulation dans les milieux aquatiques et les sols peut entraîner des risques écologiques et sanitaires considérables, notamment des troubles neurologiques, rénaux et reproductifs. En raison de leur toxicité et de leur caractère non biodégradable, les métaux lourds sont considérés comme des indicateurs majeurs de la pollution industrielle et nécessitent une surveillance rigoureuse avant tout rejet dans le milieu naturel (Abu Bakar *et al.*, 2020).

4. Caractéristiques des eaux usées par secteur industriel

La composition des eaux usées industrielles varie selon la nature des activités et des procédés mis en œuvre dans chaque secteur industriel. Le tableau I présente les principaux constituants des effluents en fonction de leur origine industrielle.

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

Tableau 01: Contenu des eaux usées types dans certaines grandes industries.
(PNUE,2010 et Moussa, 2008).

Industrie	Contenu type des effluents
Pâte et papier	- Acides lignosulfoniques chlorés, acides résiniques chlorés, phénols chlorés et hydrocarbures chlorés – environ 500 différents composants organiques chlorés identifiés. - Composés chlorés et composés organiques halogénés adsorbables (COHA). - Polluants caractérisés par la DBO, la DCO, les matières en suspension, la toxicité et la couleur.
Fer et acier	- Eau de refroidissement contenant de l'ammoniac et du cyanure. - Produits de gazéification – benzène, naphtalène, anthracène, cyanure, ammoniacque, phénols, crésols et hydrocarbures aromatiques polycycliques. - Huiles hydrauliques, suif et particules solides.
Industrie alimentaire	- Niveaux élevés de concentration en DBO et de matières en suspension. - DBO et pH variables en fonction des légumes, fruits ou viandes et de la saison. - Transformation des légumes – forte présence de particules, certaines matières organiques dissoutes, tensioactifs. - Viandes – forte présence de matières organiques, d'antibiotiques, d'hormones de croissance, de pesticides et d'insecticides. - Cuisson – matières organiques des plantes, sol, arômes, colorants, acides, huile et graisse.
Brassage	- La DBO, la DCO, matières en suspension, azote, phosphore – variables en fonction des différents procédés. - pH variable à cause des agents de nettoyage acides et alcalins. - Température élevée.
Produits laitiers	- Sucres dissouts, protéines, lipides et résidus d'additifs. - DBO, DCO, matières en suspension, azote de phosphore.
Substances chimiques organiques	Pesticides, produits pharmaceutiques, peintures et teintures, produits pétrochimiques, détergents, plastiques, etc. - Matières premières, sous-produits, matières

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

	solubles ou sous forme de particules, agents de lavage et de nettoyage, sol
Textiles -	DBO, DCO, métaux, matières solides en suspension, urée, sel, soufre, H ₂ O ₂ , NaOH. - Désinfectants, biocides, résidus d'insecticides, détergents, huiles, lubrifiants, ensimage et filature, solvants usés, composants antistatiques, agents stabilisants, tensioactifs, assistants du traitement biologique, matières cationiques, couleurs. - Acidité/alcalinité élevée. - Chaleur, mousse. - Matières toxiques, déchets de nettoyage, apprêt.

5. Normes de rejet des effluents industriels

Les principaux lois et règlements où se trouvent les dispositions en matière de rejets des eaux usées par des entreprises sont les suivants :

- Règlement sur l'application de l'article 32 de la Loi sur la qualité de l'environnement.
- Règlement relatif à l'application de la Loi sur la qualité de l'environnement.
- Règlement sur les attestations d'assainissement en milieu industriel.
- Règlement sur les effluents liquides des raffineries de pétrole.
- Règlement sur les déchets biomédicaux.
- Règlement sur les matières dangereuses.

Du côté fédéral, deux lois s'y ajoutent également :

- Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999) et plusieurs règlements qui en découlent.
- Loi sur les pêches et plusieurs règlements qui en découlent. (Meniai, 2016) Les normes de rejet sont des valeurs des paramètres polluants d'une eau usées à ne pas dépasser. On distingue :

a- Normes internationales

Les normes internationales selon l'organisation mondiale de la santé pour les eaux usées sont présentées dans le tableau.

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

b- Normes algériennes :

Les concentrations en substances polluantes contenues dans les eaux usées non domestiques sont réglementées par la législation algérienne. Ces exigences sont définies par le **décret exécutif n°09-209 du 11 juin 2009**, publié au Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire.

Ce texte réglementaire fixe les valeurs limites admissibles des différents paramètres physico-chimiques et substances polluantes, dans le but de protéger les infrastructures d'assainissement, de préserver l'efficacité des stations d'épuration et de réduire l'impact environnemental des rejets industriels.

Tableau 02: Valeurs limites des paramètres physico-chimiques

PARAMETRES	VALEURS LIMITES Max. (mg /l)
Azote globale	150
Aluminium	5
Argent	0,1
arsenic	0,1
Bérylium	0,05
Cadmium	0,1
Chlore	3
Chrome trivalent	2
Chrome hexavalent	0,1
Chromates	2
Cuivre	1
Cobalt	2
Cyanure	0,1
DBO5	500
DCO	1000
Etain	0,1
Fer	1

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

Fluorures	10
Hydrocarbures totaux	10
Matière en suspension	600
Magnésium	300
Mercuré	0,01
Nickel	2
Nitrites	0,1
Phosphore total	50
Phénol	1
Plomb	0,5
Sulfures	1
Sulfates	400
Zinc et composés	2

* Température : inférieur ou égale à 30° C * pH : compris entre 5,5 et 8,5

Chapitre III. Impacts des eaux usées industrielles sur l'environnement et la santé humaine

1. Généralité

Les eaux usées industrielles constituent une source majeure de pollution environnementale en raison de leur composition complexe et de la diversité des substances qu'elles contiennent. Ces effluents, issus des activités de production, de transformation et de traitement industriel, peuvent contenir des matières organiques, des composés chimiques toxiques, des métaux lourds ainsi que des nutriments en excès.

Lorsqu'ils sont rejetés sans traitement adéquat, ces polluants peuvent provoquer des déséquilibres importants dans les écosystèmes aquatiques, affecter la qualité des sols et de l'air, et représenter un risque significatif pour la santé humaine. L'Organisation mondiale de la santé souligne que la pollution de l'eau constitue l'un des principaux défis environnementaux et sanitaires à l'échelle mondiale (OMS, 2017).

2. Impacts sur l'environnement

2.1. Pollution des eaux de surface

Le rejet direct ou indirect des eaux usées industrielles dans les milieux aquatiques entraîne une dégradation de la qualité des eaux de surface. Ces rejets peuvent contenir des matières organiques, des hydrocarbures, des solvants et des métaux lourds tels que le plomb (Pb), le cadmium (Cd) et le mercure (Hg).

Ces substances altèrent les caractéristiques physico-chimiques de l'eau et provoquent une diminution de la biodiversité aquatique (Metcalf & Eddy, 2014).

2.2. Pollution des eaux souterraines

Les polluants industriels peuvent s'infiltrer à travers les sols et atteindre les nappes phréatiques. Cette contamination est particulièrement préoccupante car elle est souvent durable et difficile à éliminer. Les nitrates, les composés organiques persistants et les métaux lourds représentent les principaux contaminants des eaux souterraines (Rodier *et al.*, 2009).

2.3. Eutrophisation des milieux aquatiques

L'enrichissement des eaux en nutriments, notamment en azote et en phosphore issus des rejets industriels, favorise le développement excessif des algues et des plantes aquatiques. Ce phénomène, appelé eutrophisation, entraîne une diminution de l'oxygène dissous dans l'eau, provoquant ainsi l'asphyxie et la disparition progressive des organismes aquatiques (Rejsek, 2002).



Figure 4 : Eutrophisation des milieux aquatiques (Anonyme 2)

2.4. Dégradation des sols

Les rejets industriels solides ou liquides peuvent entraîner une accumulation de substances toxiques dans les sols. Cette contamination affecte la structure du sol, réduit sa fertilité et perturbe l'activité biologique des micro-organismes. Les sols contaminés peuvent également représenter une source secondaire de pollution pour les eaux souterraines et les cultures agricoles.

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

2.5. Pollution atmosphérique liée aux activités industrielles

Les industries contribuent également à la pollution de l'air par l'émission de gaz tels que le dioxyde de carbone (CO₂), les oxydes d'azote (NO_x) et le dioxyde de soufre (SO₂). Ces émissions participent au réchauffement climatique, à la formation des pluies acides et à la dégradation de la qualité de l'air ambiant (IPCC, 2021).

3. Impacts sur la santé humaine

3.1. Maladies hydriques

La consommation ou le contact avec des eaux contaminées par des rejets industriels peut provoquer diverses maladies hydriques, notamment des infections gastro-intestinales, des diarrhées et des intoxications chimiques. Les populations vivant à proximité des zones industrielles sont particulièrement exposées à ces risques.

3.2. Toxicité chronique des polluants

Certains polluants industriels, notamment les métaux lourds et les composés organiques persistants, peuvent s'accumuler dans l'organisme humain. Cette exposition chronique peut entraîner des effets graves tels que des atteintes rénales, hépatiques, neurologiques, ainsi que des risques cancérogènes (WHO, 2017).

3.3. Bioaccumulation et biomagnification

Les polluants présents dans les eaux usées industrielles peuvent s'accumuler dans les organismes vivants et augmenter en concentration le long de la chaîne alimentaire. Ce phénomène de biomagnification représente un risque majeur pour la santé humaine, notamment à travers la consommation de produits aquatiques contaminés.

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

4. Types de pollution industrielle

La pollution industrielle peut être classée selon le milieu touché :

- **Pollution de l'eau** : due aux rejets d'eaux usées industrielles non traitées ou insuffisamment traitées
- **Pollution de l'air** : émissions de gaz et particules fines issues des procédés industriels
- **Pollution des sols** : accumulation de déchets et substances chimiques toxiques
- **Pollution thermique** : rejet d'eaux chaudes industrielles dans les milieux aquatiques
- **Pollution sonore** : bruit généré par les équipements industriels et les activités de production

5. Origine et causes de la pollution industrielle

La pollution industrielle résulte de plusieurs facteurs principaux, notamment :

- la surexploitation des ressources naturelles
- l'utilisation de procédés industriels anciens ou non optimisés
- l'absence ou l'insuffisance des systèmes de traitement des rejets
- la croissance industrielle non planifiée
- le non-respect des normes environnementales

Ces facteurs contribuent directement à l'augmentation des rejets polluants dans les différents compartiments de l'environnement.

Matériels et Méthodes

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

Matériel et Méthodes

1. Nature de l'étude

Le présent travail consiste en une étude bibliographique basée sur l'analyse comparative des caractéristiques physico-chimiques des eaux usées industrielles rapportées dans la littérature scientifique. Cette approche vise à synthétiser et à comparer les résultats obtenus dans différentes études afin d'identifier les principales variations des paramètres de qualité des eaux usées selon le type d'activité industrielle.

L'étude s'inscrit dans une démarche d'évaluation de la pollution industrielle à travers l'exploitation de données publiées dans des articles scientifiques nationaux et internationaux traitant de la caractérisation physico-chimique des effluents industriels.

2. Sélection des articles

Au total, dix études ont été retenues. Elles concernent différents secteurs industriels tels que l'industrie textile, pharmaceutique, plastique, les abattoirs, les stations de lavage automobile ainsi que d'autres activités industrielles.

Tableau 03 : Présentation des études scientifiques retenues pour l'analyse comparative des caractéristiques physico-chimiques des eaux usées industrielles.

N°	Auteurs	Année	Titre de l'étude	Type d'industrie	Pays / Région
1	Khelassi-Sefaoui A., Khechekhouche A., Zaoui-Djelloul M. et al.	2021	<i>Physico-chemical investigation of wastewater from the Sebdou-Tlemcen textile complex North-West Algeria</i>	Textile	Algérie (Tlemcen)
2	Messrouk H., Hadj Mahammed M., Touil Y., Amrane A.	2014	<i>Physico-chemical Characterization of Industrial Effluents from the Town of Ouargla (South East Algeria)</i>	Effluents industriels divers	Algérie (Ouargla)
3	Saouli C., Assabaa R.	2017	<i>Physicochemical Evaluation of Industrial Wastewater of SAIDAL Group Located in the Industrial Zone Palma of Constantine</i>	Pharmaceutique	Algérie (Constantine)

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

4	Adam A., Saffaj N., Mamouni R., Ait Baih M.	2022	<i>Characterization of Industrial Wastewater Physico-Chemical Properties</i>	Industriel divers	Maroc (Agadir)
5	Tariq M., Anayat A., Waseem M. et al.	2022	<i>Physicochemical and Bacteriological Characterization of Industrial Wastewater Being Discharged to Surface Water Bodies</i>	Industriel divers	Pakistan
6	Lateef E.O., Banjo T.T., Aina Y.O., Lateef S.A., Agboola D.A.	2023	<i>Comparative Microbiological and Physicochemical Analysis of Domestic and Industrial Wastewater</i>	Industriel divers	Nigeria
7	Tigga T.M., Pandey V.K.	2023	<i>A Review on Physico-Chemical Parameters of the Quality of Water</i>	Revue scientifique	Inde
8	Bibi M., Rashid J., Malik M. et al.	2023	<i>Physicochemical Analysis and Detection of Exceptionally High Diclofenac Concentration in Pharmaceutical Wastewaters</i>	Pharmaceutique	Pakistan
9	Faouzi J., Rezouki S., Bourhia M. et al.	2023	<i>Assessment of Impacts of Industrial Effluents on Physico-Chemical and Microbiological Qualities of Irrigation Water of the Fez River</i>	Industriel divers	Maroc (Fès)
10	Abu Bakar N., Othman N., Yunus Z.M. et al.	2019	<i>Physico-Chemical Water Quality Parameters Analysis on Textile Wastewater</i>	Textile	Malaisie

Les dix études retenues couvrent plusieurs secteurs industriels (textile, pharmaceutique, plasturgie, stations de lavage automobile, abattoirs et industries diverses) ainsi que différentes régions du monde. Cette diversité permet d'obtenir une vision globale des caractéristiques physico-chimiques des eaux usées industrielles et d'effectuer une analyse comparative représentative des principales sources de pollution industrielle.

3. Paramètres étudiés

Les paramètres physico-chimiques retenus pour cette étude sont ceux couramment utilisés dans l'évaluation de la qualité des eaux usées industrielles :

- Température (°C) ;
- Potentiel hydrogène (pH) ;

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

- Conductivité électrique (EC) ;
- Solides dissous totaux (TDS) ;
- Matières en suspension (MES/TSS) ;
- Demande chimique en oxygène (DCO/COD) ;
- Demande biochimique en oxygène sur cinq jours (DBO₅/BOD₅).

Ces paramètres permettent d'évaluer le niveau de pollution organique et minérale des effluents ainsi que leur impact potentiel sur les milieux récepteurs.

4. Collecte et traitement des données

Les données numériques relatives aux différents paramètres ont été extraites à partir des articles sélectionnés puis regroupées dans des tableaux de synthèse élaborés sous Microsoft Excel.

Pour chaque étude, les valeurs minimales, maximales ou moyennes disponibles ont été relevées afin de permettre une comparaison homogène entre les différents secteurs industriels.

Les données collectées ont ensuite été organisées sous forme de tableaux récapitulatifs et représentées graphiquement à l'aide de diagrammes comparatifs facilitant l'interprétation des résultats.

5. Analyse comparative des résultats

L'analyse comparative a consisté à examiner les variations des paramètres physico-chimiques selon le type d'activité industrielle. Les résultats obtenus ont été comparés entre les différentes études afin d'identifier les secteurs présentant les charges polluantes les plus importantes.

Les valeurs relevées ont également été confrontées aux normes nationales et internationales relatives aux rejets d'eaux usées industrielles afin d'évaluer leur conformité environnementale.

Cette démarche a permis de mettre en évidence les principales caractéristiques des effluents industriels, les facteurs influençant leur qualité ainsi que les risques potentiels associés à leur rejet dans l'environnement.

Résultats et discussion

RESULTATS ET DISCUSSION

Résultats et discussion

Cette partie présente les principaux résultats issus de l'analyse comparative des différentes études portant sur les caractéristiques physico-chimiques des eaux usées industrielles. L'interprétation s'appuie sur les paramètres essentiels tels que la température, le pH, la conductivité électrique, les solides dissous totaux (TDS), les matières en suspension (MES/TSS), ainsi que la demande chimique et biochimique en oxygène (DCO et DBO₅). L'objectif est de mettre en évidence les variations de la qualité des effluents selon le type d'activité industrielle et d'identifier les principaux facteurs influençant leur niveau de pollution.

1. Température :

Le tableau 4 et la figure 5 représentent les températures des eaux usées industrielles rapportées dans les études sélectionnées.

Tableau 04. Température des eaux usées industrielles rapportée dans les études sélectionnées.

Étude	Type d'effluent	Température (°C)
Khelassi-Sefaoui et al. (2021)	Textile	20–25 (entrée), 15–18 (sortie)
Messrouk et al. (2014)	Industriel mixte	< 30
Saouli et Assabaa (2017)	Pharmaceutique	9–22
Adam et al. (2022)	Industriel	Corrélations étudiées, valeurs non précisées
Tariq et al. (2022)	Industriel	31–38
Bibi et al. (2023)	Pharmaceutique	< 40
Abu Bakar et al. (2019)	Textile	30,13–32,70

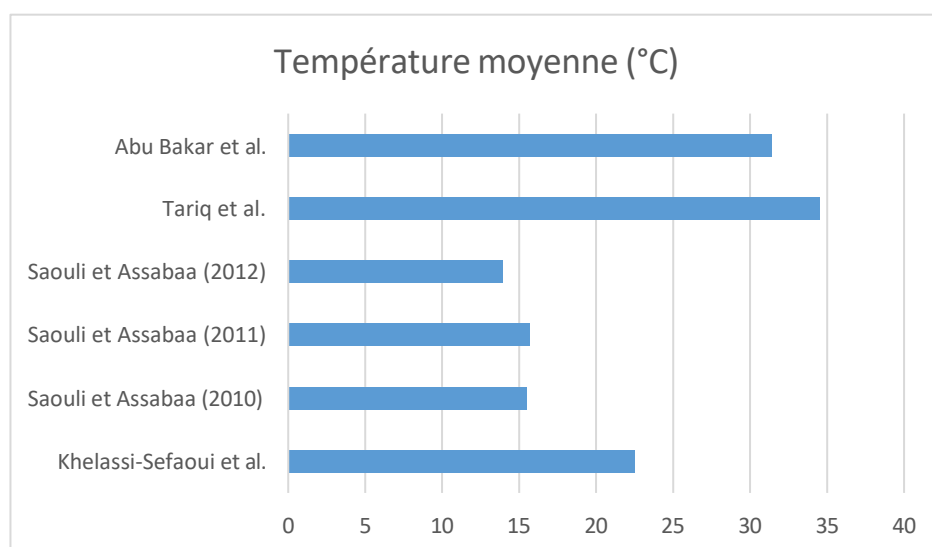


Figure 05 : Température moyenne des eaux usées industrielles

RESULTATS ET DISCUSSION

Les différentes études analysées montrent que la température des eaux usées industrielles varie généralement entre 9 et 38 °C selon le type d'activité industrielle et les conditions environnementales. Les températures les plus faibles ont été observées dans les effluents pharmaceutiques étudiés par Saouli et Assabaa (2017), avec des valeurs comprises entre 9 et 22 °C, tandis que les températures les plus élevées ont été rapportées par Tariq et al. (2022), atteignant 38 °C.

Dans le cas des effluents textiles, Khelassi-Sefaoui et al. (2021) ont enregistré des températures comprises entre 20 et 25 °C à l'entrée de la station de traitement et entre 15 et 18 °C à la sortie, ce qui traduit une diminution de la température après traitement. De même, Abu Bakar et al. (2019) ont rapporté des températures comprises entre 30,13 et 32,70 °C dans les eaux usées textiles.

La température constitue un paramètre important de la qualité des eaux car elle influence directement les réactions chimiques, la solubilité des gaz et l'activité biologique. Une augmentation de la température accélère les réactions biochimiques et réduit la solubilité de l'oxygène dissous, pouvant ainsi perturber les écosystèmes aquatiques. Elle joue également un rôle essentiel dans les processus biologiques de traitement des eaux usées, notamment la nitrification et la dénitrification.

L'ensemble des valeurs rapportées dans les études demeure conforme aux limites réglementaires généralement admises pour les rejets industriels, fixées à 30 °C en Algérie et à 40 °C dans certaines réglementations internationales. Ces résultats suggèrent que la température des effluents industriels étudiés ne constitue pas un facteur limitant majeur pour leur rejet dans le milieu récepteur. Toutefois, des températures élevées observées dans certaines industries peuvent contribuer à diminuer la teneur en oxygène dissous et accentuer les impacts environnementaux lorsqu'elles sont associées à une forte charge polluante.

RESULTATS ET DISCUSSION

2. pH

Les valeurs de pH enregistrées dans les travaux sélectionnés sont regroupées dans le tableau 05.

Tableau 05 : Valeurs de pH enregistrés dans les différentes industries.

Article	Type d'industrie	pH minimum	pH maximum	pH moyen
Khelassi-Sefaoui et al., 2021-Eau brute textile	Textile	10,5	14,0	12,1
Khelassi-Sefaoui et al., 2021 - Eau traitée	Textile	7,0	7,5	7,17
Messrouk et al., 2014	Industriel mixte	5,0	9,0	7,0*
Saouli et Assabaa, 2017 - 2010	Pharmaceutique	7,51	8,41	7,96
Saouli et Assabaa, 2017 - 2011	Pharmaceutique	1,29	12,06	7,42
Saouli et Assabaa, 2017- 2012	Pharmaceutique	7,51	8,41	8,36
Tariq et al., 2022	Industriel	6,02	8,18	7,10
Lateef et al., 2023	Industriel	7,0	8,1	7,55
Bibi et al., 2023	Pharmaceutique	5,38	7,73	6,56
Abu Bakar et al., 2019	Textile	6,27	8,80	7,54
Norme algérienne	-	6,5	8,5	7,5

Les valeurs de pH rapportées dans les différentes études analysées montrent une variabilité modérée, généralement comprise entre des conditions acides et légèrement alcalines, avec une tendance globale vers la neutralité. Cette stabilité générale traduit des effluents globalement compatibles avec les processus biologiques de traitement des eaux usées.

Les effluents issus de l'industrie textile présentent une variabilité importante du pH. L'étude de Abu Bakar et al. (2019) rapporte des valeurs comprises entre 6,27 et 8,80, tandis que Khelassi-Sefaoui et al. (2021) mettent en évidence un pH très alcalin des eaux brutes (moyenne de 12,1), fortement réduit après traitement (7 à 7,5). Cette forte alcalinité est généralement liée à l'utilisation de produits chimiques basiques (soude, agents de teinture et de lavage). Après traitement, les valeurs reviennent dans la plage neutre, conforme aux normes environnementales.

Les études menées sur des effluents industriels variés (Messrouk *et al.*, 2014 ; Adam et al., 2022 ; Lateef *et al.*, 2023 ; Tigga et Pandey, 2023) montrent des valeurs globalement comprises entre 5 et 9, avec une majorité de mesures proches de la neutralité (≈ 7 à 7,5). Certaines variations vers l'acidité sont attribuées à la présence de rejets organiques fermentescibles ou à des procédés industriels spécifiques.

RESULTATS ET DISCUSSION

Les rejets issus de l'industrie pharmaceutique (Saouli et Assabaa, 2017 ; Bibi et al., 2023) présentent également une fluctuation du pH. Les valeurs moyennes se situent entre 6,5 et 8,4, avec une tendance légèrement alcaline. Cette stabilité relative est liée à la nature contrôlée des procédés industriels, bien que certains échantillons puissent présenter un caractère légèrement acide en fonction des substances actives utilisées.

L'ensemble des études analysées montre que la majorité des eaux usées industrielles présentent un pH compris entre 6 et 8,5, correspondant à la plage optimale pour les activités biologiques (6,5–8,5). Les écarts observés, notamment dans les effluents textiles bruts, sont principalement liés à l'utilisation de produits chimiques alcalins ou acides dans les procédés industriels.

Ainsi, l'analyse comparative par type d'industrie met en évidence une tendance générale vers un pH neutre à légèrement alcalin, après traitement ou dilution. Les effluents textiles se distinguent par des valeurs initialement plus extrêmes, tandis que les effluents industriels mixtes et pharmaceutiques présentent une meilleure stabilité. Globalement, les résultats obtenus dans les différentes études concordent et confirment le respect des plages de pH compatibles avec les normes environnementales et les processus biologiques de traitement.

3. Demande chimique en oxygène (COD)

Les valeurs de la demande chimique en oxygène (DCO) issues des travaux sélectionnés sont regroupées dans le tableau 6.

Tableau 06 : Valeurs des COD rapportées

Article	Type d'industrie	COD (mg/L)
Khelassi-Sefaoui et al. 2021 (textile)	Textile	828.4
Khelassi-Sefaoui et al. 2021 (sortie textile)	Textile	154.4
Messrouk et al. 2014	Industriel mixte	36 – 36120
Saouli & Assabaa 2017 (2010)	Industriel/pharmaceutique	444.15
Saouli & Assabaa 2017 (2011)	Industriel/pharmaceutique	255.50
Saouli & Assabaa 2017 (2012)	Industriel/pharmaceutique	170.65
Tariq et al. 2022	Industriel	153.6 – 36120
Lateef et al. 2023	Industriel	≈ 445.54
Abu Bakar et al. 2019	Textile	55 – 294

RESULTATS ET DISCUSSION

Les valeurs de la demande chimique en oxygène (COD) rapportées dans les différentes études analysées présentent une très forte variabilité selon le type d'effluent industriel. Globalement, les concentrations varient entre environ 150 mg/L et plus de 36 000 mg/L, traduisant une charge organique extrêmement hétérogène.

Les effluents textiles présentent des valeurs élevées en entrée (828,4 mg/L) mais diminuent significativement après traitement pour atteindre 154,4 mg/L, ce qui met en évidence l'efficacité des stations d'épuration dans la réduction de la charge organique.

Les études menées sur des effluents industriels mixtes et des activités fortement polluantes (stations de lavage, abattoirs, industries diverses) montrent des valeurs extrêmement élevées de COD, parfois supérieures à 10 000 mg/L, voire atteignant 36 120 mg/L, en raison de la présence importante de matières organiques et de composés difficilement biodégradables tels que les huiles, détergents et résidus chimiques.

Les effluents pharmaceutiques et industriels présentent quant à eux des valeurs intermédiaires comprises entre 170 et 445 mg/L, indiquant une charge organique modérée mais persistante.

Dans l'ensemble, ces résultats montrent que la majorité des effluents industriels dépassent largement les valeurs limites de rejet fixées à 120–250 mg/L selon les normes, confirmant ainsi une pollution organique significative nécessitant un traitement approprié.

4. TDS (Total Dissolved Solids)

Les valeurs des solides dissous totaux (TDS) issues des travaux sélectionnés sont présentées dans la figure 05.

RESULTATS ET DISCUSSION

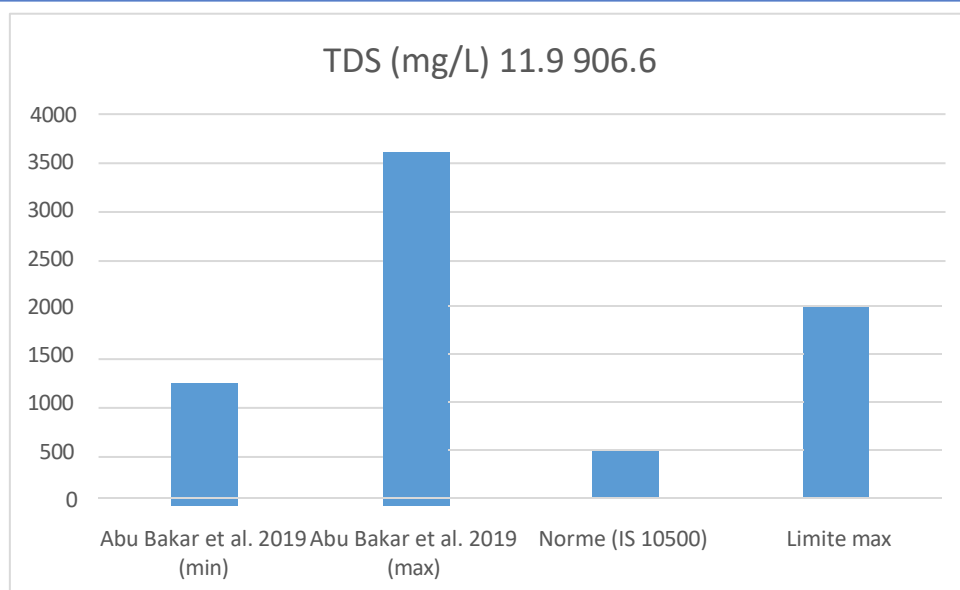


Figure 06 : Les valeurs des solides dissous totaux (TDS)

Les valeurs des solides dissous totaux (TDS) rapportées dans les études analysées présentent une variabilité importante selon le type d'effluent industriel. Les concentrations observées varient globalement entre 11,9 mg/L et 3610 mg/L, reflétant des différences significatives dans la charge minérale et organique des eaux usées.

Les effluents textiles présentent les valeurs les plus élevées, atteignant jusqu'à 3610 mg/L, ce qui s'explique par l'utilisation de sels, de colorants et de produits chimiques au cours des procédés de teinture et de finition. Ces composés augmentent fortement la charge ionique des rejets industriels.

À l'inverse, certaines eaux usées industrielles mixtes présentent des valeurs beaucoup plus faibles, parfois inférieures à 1000 mg/L, traduisant une pollution dissoute moins concentrée ou des traitements partiels des effluents.

Les données issues de la littérature indiquent également que les TDS constituent un paramètre clé de la qualité des eaux, car ils influencent directement la conductivité, la densité de l'eau, la disponibilité en oxygène dissous et les processus biologiques aquatiques. Des concentrations élevées peuvent ainsi perturber les écosystèmes aquatiques et réduire la capacité d'autoépuration des milieux récepteurs.

RESULTATS ET DISCUSSION

Comparativement aux normes de qualité de l'eau (500 mg/L comme limite recommandée et 2000 mg/L comme seuil maximal selon IS 10500), plusieurs valeurs observées dépassent les seuils admissibles, confirmant une pollution significative des effluents industriels étudiés.

5. Demande Biochimique en Oxygène (DBO₅)

Les valeurs de la demande biochimique en oxygène sur cinq jours (DBO₅) issues des travaux sélectionnés sont regroupées dans le tableau 7.

Tableau 07 : récapitulatif de la DBO₅ des eaux usées industrielles

Référence	Type d'industrie	DBO ₅ (mg/L)
Khelassi-Sefaoui et al. (2021)	Textile (effluent traité)	28 – 44
Messrouk et al. (2014)	Hôpital	100 – 150
Messrouk et al. (2014)	Station de lavage automobile	200 – 2350
Messrouk et al. (2014)	Abattoir	317 – 4700
Tariq et al. (2022)	Industries diverses (Pakistan)	296 – 520
Abu Bakar et al. (2019)	Textile	7,1 – 85

Les valeurs de la demande biochimique en oxygène sur 5 jours (DBO₅) présentent une forte variabilité en fonction du type d'effluent industriel étudié. Les concentrations rapportées dans la littérature varient globalement entre 7,1 mg/L et 4700 mg/L, traduisant des niveaux très différents de charge organique biodégradable.

Les effluents issus de l'industrie textile traitée présentent des valeurs relativement faibles, comprises entre 28 et 85 mg/L, ce qui indique une réduction significative de la charge organique après traitement. Ces valeurs restent proches des normes de rejet généralement admises (30–40 mg/L), bien qu'une légère variabilité puisse être observée selon les conditions de traitement.

En revanche, les eaux issues des secteurs hospitalier, des stations de lavage automobile et des abattoirs présentent des valeurs beaucoup plus élevées, atteignant jusqu'à 4700 mg/L dans certains cas. Cette augmentation est liée à la présence importante de matière organique facilement biodégradable (sang, graisses, résidus alimentaires), mais également à la présence de composés inhibiteurs tels que les détergents, antibiotiques et désinfectants.

RESULTATS ET DISCUSSION

Les données montrent également que la DBO₅ est fortement influencée par la nature des rejets industriels, confirmant que les effluents agroalimentaires et sanitaires présentent une charge organique nettement supérieure à celle des effluents textiles traités.

Enfin, la comparaison avec les normes environnementales met en évidence que plusieurs valeurs dépassent largement les seuils admissibles, confirmant une pollution organique importante nécessitant un traitement adapté avant rejet dans le milieu naturel.

6. Conductivité (EC)

Les valeurs de la conductivité électrique (EC) issues des travaux sélectionnés sont présentées à la fois dans le tableau 8 et illustrées dans la figure 7.

Tableau 08 : récapitulatif de la conductivité électrique (EC)

Référence	Type d'industrie	EC
Messrouk et al. (2014)	Hôpital	4,29 mS/cm
Messrouk et al. (2014)	Usine plastique	2,99 mS/cm
Messrouk et al. (2014)	Abattoir	25,32 mS/cm
Messrouk et al. (2014)	Station de lavage automobile	23,16 – 44,95 mS/cm
Saouli & Assabaa (2017)	Industrie pharmaceutique (SAIDAL)	3030,6 – 14061 µS/cm
Tariq et al. (2022)	Industries diverses	850 – 5533 µS/cm
Lateef et al. (2023)	Eaux usées domestiques et industrielles	Valeurs plus élevées pour les eaux domestiques (non précisées)
Bibi et al. (2023)	Industrie pharmaceutique	15,7 – 1493,6 µS/cm
Abu Bakar et al. (2019)	Industrie textile	2,12 – 5,79 mS/cm

RESULTATS ET DISCUSSION

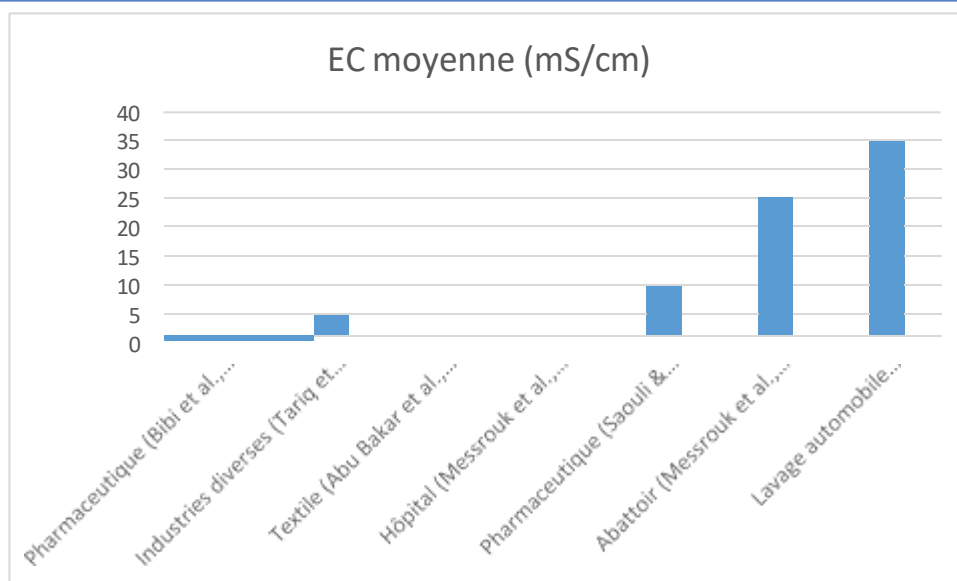


Figure 07 : Comparaison de la conductivité électrique des eaux usées selon le type d'industrie

La conductivité électrique (EC) constitue un indicateur important de la minéralisation des eaux usées et reflète la concentration totale en ions dissous. Les études analysées montrent une forte variabilité des valeurs selon l'origine des effluents industriels.

Les valeurs les plus faibles ont été observées dans les effluents de l'industrie pharmaceutique étudiés par Bibi et al. (2023), avec des valeurs comprises entre 0,016 et 1,49 mS/cm. À l'inverse, les valeurs les plus élevées ont été enregistrées dans les stations de lavage automobile et les abattoirs étudiés par Messrouk et al. (2014), atteignant respectivement 44,95 mS/cm et 25,32 mS/cm. Ces fortes conductivités sont principalement attribuées à la présence élevée de sels dissous, de détergents et de produits de nettoyage.

Les effluents textiles présentent des valeurs intermédiaires comprises entre 2,12 et 5,79 mS/cm (Abu Bakar *et al.*, 2019), tandis que les effluents pharmaceutiques de Saouli et Assabaa (2017) affichent des conductivités variant de 3,03 à 14,06 mS/cm, traduisant une charge minérale relativement importante.

Globalement, l'augmentation de la conductivité électrique est souvent associée à une forte concentration en matières dissoutes et peut affecter la qualité des milieux récepteurs ainsi que l'utilisation potentielle des eaux usées en irrigation. Les valeurs observées dans plusieurs études dépassent les seuils recommandés pour les rejets directs, ce qui souligne la nécessité d'un traitement approprié avant leur évacuation dans l'environnement.

RESULTATS ET DISCUSSION

7. Valeurs des matières en suspension (TSS)

Les valeurs des matières en suspension (TSS) issues des travaux sélectionnés sont regroupées dans le tableau 9.

Tableau 9 : Valeurs des matières en suspension (TSS)

Référence	Type d'industrie	TSS (mg/L)
Messrouk et al. (2014)	Hôpital	29
Messrouk et al. (2014)	Abattoir	696,66 – 933
Messrouk et al. (2014)	Station de lavage automobile	105 – 14 702
Tariq et al. (2022)	Industries diverses	>150
Bibi et al. (2023)	Industrie pharmaceutique	14,6 – 176
Abu Bakar et al. (2019)	Industrie textile	jusqu'à 140

Les matières en suspension (MES ou TSS) constituent un indicateur important de la qualité des eaux usées. Elles correspondent à l'ensemble des particules solides non dissoutes présentes dans l'eau, qu'elles soient d'origine organique ou minérale. Les résultats rapportés dans les différentes études montrent une forte variabilité des concentrations selon le type d'activité industrielle.

Les valeurs les plus faibles ont été observées dans les effluents hospitaliers étudiés par Messrouk et al. (2014), avec une concentration de 29 mg/L, conforme aux limites réglementaires de rejet. À l'inverse, les stations de lavage automobile présentent les concentrations les plus élevées, atteignant jusqu'à 14 702 mg/L. Cette forte charge en matières en suspension est principalement attribuée à la présence d'huiles, de graisses, de particules minérales et de résidus issus du nettoyage des véhicules.

Les effluents d'abattoirs présentent également des concentrations importantes, comprises entre 696,66 et 933 mg/L, en raison de la présence de matières organiques telles que les fèces, les graisses et les résidus biologiques. Dans l'industrie pharmaceutique, Bibi et al. (2023) ont rapporté des valeurs variant entre 14,6 et 176 mg/L, tandis que les effluents textiles étudiés par Abu Bakar et al. (2019) atteignaient jusqu'à 140 mg/L.

Les travaux de Tariq et al. (2022) montrent par ailleurs que l'ensemble des échantillons industriels analysés dépassaient la limite admissible de 150 mg/L pour les rejets industriels. Une concentration élevée en MES peut réduire la transparence de l'eau, limiter la pénétration de la

RESULTATS ET DISCUSSION

lumière, diminuer l'oxygénation du milieu aquatique et perturber les processus biologiques naturels. De plus, ces particules peuvent transporter divers polluants et contribuer à l'encrassement des réseaux d'assainissement.

La comparaison des différentes études met ainsi en évidence que les activités de lavage automobile et les abattoirs génèrent généralement les charges les plus élevées en matières en suspension, alors que les effluents hospitaliers et certains effluents pharmaceutiques présentent des concentrations plus faibles.

Tableau 10 : Valeurs des matières en suspension (TSS)

Référence	Type d'industrie	TSS min (mg/L)	TSS max (mg/L)	TSS moyen (mg/L)
Messrouk et al., 2014	Hôpital	29	29	29
Messrouk et al., 2014	Abattoir	696,66	933	814,83
Messrouk et al., 2014	Station de lavage	105	14702	7403,5
Tariq et al., 2022	Industries diverses	>150	ND	ND
Bibi et al., 2023	Pharmaceutique	14,6	176	95,3
Abu Bakar et al., 2019	Textile	ND	140	140

ND = donnée non disponible

8. Comparaison globale des caractéristiques physico-chimiques selon le type d'industrie

L'analyse comparative des différentes études met en évidence une forte influence de la nature de l'activité industrielle sur la qualité physico-chimique des eaux usées rejetées. Les paramètres étudiés, notamment la température, le pH, la conductivité électrique (CE), les matières en suspension (MES/TSS), les solides dissous totaux (TDS), la demande chimique en oxygène (DCO) et la demande biochimique en oxygène (DBO₅), présentent des variations importantes selon le secteur industriel concerné.

Les effluents issus des stations de lavage automobile figurent parmi les plus chargés en polluants. Les travaux de Messrouk et al. (2014) ont montré des concentrations très élevées en DCO pouvant dépasser 36 000 mg/L, accompagnées de fortes teneurs en MES et en conductivité électrique. Cette pollution est principalement liée à la présence d'huiles usagées, de graisses, de détergents et de particules solides provenant des opérations de lavage des véhicules. Des études

RESULTATS ET DISCUSSION

récentes confirment que les eaux usées des stations de lavage constituent une source importante de pollution organique et minérale, nécessitant des traitements spécifiques avant leur rejet dans le milieu naturel (Crizel et al., 2024 ; Heliyon, 2023).

Les abattoirs représentent également une source majeure de pollution organique. Les concentrations élevées de DBO₅, de DCO et de MES observées dans plusieurs études s'expliquent par la présence de sang, de matières fécales, de résidus alimentaires et de graisses animales. Ces effluents possèdent généralement une biodégradabilité importante en raison de leur forte teneur en matière organique facilement dégradable. Selon des synthèses récentes, les eaux usées d'abattoirs peuvent atteindre des concentrations extrêmement élevées en DCO, DBO₅ et TSS, constituant ainsi l'un des effluents industriels les plus polluants (Mendes et al., 2024).

Les effluents textiles se distinguent par des concentrations élevées en DCO, TDS et conductivité électrique. Cette pollution résulte principalement de l'utilisation de colorants, de sels minéraux, d'agents tensioactifs et de nombreux produits chimiques utilisés lors des opérations de teinture, de blanchiment et de finition. Les eaux usées textiles présentent souvent une faible biodégradabilité et nécessitent des traitements avancés pour réduire leur impact environnemental. Plusieurs revues récentes soulignent que l'industrie textile demeure l'un des secteurs industriels les plus consommateurs d'eau et générateurs d'effluents complexes à forte charge polluante (Islam *et al.*, 2024 ; Conde Miranda *et al.*, 2024).

Les industries pharmaceutiques présentent également des caractéristiques particulières. Bien que certaines études aient montré des concentrations modérées en matières en suspension, les valeurs de DCO, de conductivité et de TDS peuvent être importantes en raison de la présence de molécules pharmaceutiques, de solvants et de composés organiques complexes. Ces effluents sont souvent difficiles à traiter biologiquement et nécessitent des procédés adaptés afin d'éliminer les contaminants émergents susceptibles d'affecter les écosystèmes aquatiques (Ganthavee et Trzcinski, 2024 ; Dawood *et al.*, 2023).

Les industries plastiques apparaissent globalement comme les moins polluantes parmi les secteurs étudiés. Les concentrations en DCO, DBO₅ et conductivité électrique y sont généralement inférieures à celles observées dans les autres activités industrielles, même si des variations peuvent être observées selon les procédés de fabrication employés.

RESULTATS ET DISCUSSION

Concernant les paramètres généraux, les valeurs de température enregistrées dans l'ensemble des études restent généralement conformes aux normes de rejet. Le pH se situe le plus souvent dans un intervalle compris entre 6 et 9, correspondant aux limites réglementaires admises pour les rejets industriels. En revanche, les paramètres liés à la charge polluante organique (DCO, DBO₅) ainsi qu'aux matières solides (MES/TSS et TDS) dépassent fréquemment les seuils recommandés. Les concentrations élevées de MES observées notamment dans les stations de lavage automobile, les abattoirs et certaines industries textiles peuvent provoquer une diminution de la transparence de l'eau, une réduction de la pénétration lumineuse et une altération des processus biologiques aquatiques. Les TDS élevés traduisent quant à eux une forte minéralisation des effluents, susceptible d'affecter la qualité des eaux réceptrices et les usages agricoles éventuels.

Ainsi, la comparaison des différents secteurs industriels montre que les stations de lavage automobile, les abattoirs et certaines industries textiles génèrent les effluents les plus fortement chargés en polluants, tandis que les industries plastiques présentent généralement des niveaux de pollution plus faibles. Ces résultats soulignent l'importance de mettre en œuvre des traitements adaptés à chaque type d'activité industrielle afin de limiter les impacts environnementaux des rejets et de favoriser une gestion durable de la ressource en eau.

Conclusion

CONCLUSION

CONCLUSION GÉNÉRALE

L'industrialisation croissante observée au cours des dernières décennies s'accompagne d'une augmentation importante des volumes d'eaux usées générés par les différents secteurs d'activité. La caractérisation physico-chimique des eaux usées industrielles représente une étape fondamentale pour l'évaluation de leur impact environnemental.

Le présent travail, basé sur une synthèse comparative de plusieurs études nationales et internationales, a permis d'examiner les principales caractéristiques physico-chimiques des eaux usées issues de différents secteurs industriels tels que les industries textiles, pharmaceutiques, plastiques, les abattoirs ainsi que les stations de lavage automobile. L'analyse des paramètres retenus, à savoir la température, le potentiel hydrogène (pH), la conductivité électrique (CE), les solides dissous totaux (TDS), les matières en suspension (MES/TSS), la demande chimique en oxygène (DCO) et la demande biochimique en oxygène sur cinq jours (DBO₅), a permis de mettre en évidence l'importante variabilité de la composition des effluents selon l'origine industrielle considérée.

Les résultats compilés montrent que la température des effluents demeure généralement conforme aux limites réglementaires de rejet. Les valeurs observées varient le plus souvent entre 15 et 38 °C, reflétant les conditions climatiques locales ainsi que les procédés industriels employés. De même, le pH des eaux usées étudiées se situe majoritairement dans un intervalle compris entre 6 et 9, indiquant des conditions compatibles avec les normes environnementales et favorables aux traitements biologiques.

En revanche, les paramètres traduisant la charge polluante des effluents présentent des variations beaucoup plus importantes. Les valeurs de DCO et de DBO₅ enregistrées dans plusieurs études révèlent une forte présence de matière organique oxydable. Les concentrations les plus élevées ont été observées dans les effluents d'abattoirs et de stations de lavage automobile, où les apports en matières organiques, huiles, graisses et résidus divers contribuent fortement à l'augmentation de la charge polluante. Les effluents textiles se caractérisent quant à eux par des teneurs élevées en DCO, en TDS et en conductivité électrique, résultant principalement de l'utilisation de colorants, de sels minéraux et de nombreux réactifs chimiques au cours des procédés de fabrication.

CONCLUSION

L'étude des matières en suspension (MES/TSS) a également mis en évidence des concentrations souvent supérieures aux normes recommandées, particulièrement dans les effluents issus des abattoirs, des stations de lavage automobile et de certaines industries textiles. Ces matières solides peuvent entraîner une diminution de la transparence des eaux réceptrices, limiter la pénétration de la lumière et perturber les équilibres biologiques des milieux aquatiques. De la même manière, les fortes concentrations en solides dissous totaux (TDS) et les valeurs élevées de conductivité électrique observées dans plusieurs études traduisent une importante minéralisation des effluents, susceptible d'affecter la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines.

La comparaison entre les différents secteurs industriels a permis de distinguer plusieurs profils de pollution. Les stations de lavage automobile apparaissent comme l'une des activités les plus génératrices de pollution organique et minérale, notamment en raison de la présence de détergents, d'hydrocarbures et de particules solides. Les abattoirs produisent des effluents fortement biodégradables mais très chargés en matière organique. Les industries textiles génèrent des rejets complexes contenant à la fois des composés organiques et des substances chimiques difficilement dégradables. Les industries pharmaceutiques se distinguent par la présence de molécules spécifiques susceptibles de présenter des risques écotoxicologiques. Enfin, les industries plastiques présentent généralement des niveaux de pollution plus faibles, bien que certains paramètres puissent varier selon les procédés de production.

En conclusion, les résultats de cette synthèse confirment que les eaux usées industrielles constituent une source potentielle de pollution importante lorsqu'elles ne sont pas convenablement traitées. La diversité des caractéristiques observées reflète la variété des procédés industriels et justifie la mise en place de solutions de traitement spécifiques à chaque secteur. Face aux défis liés à la protection des ressources en eau, au développement durable et à l'économie circulaire, l'amélioration des systèmes de traitement ainsi que la valorisation des eaux usées traitées apparaissent aujourd'hui comme des axes prioritaires pour réduire l'impact environnemental des activités industrielles et préserver les écosystèmes aquatiques pour les générations futures.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

Anonyme 1 : Source : http://emmanuelbourdequin.free.fr/IMG/pdf/C4_cours.pdf

Anonyme 2 : <https://www.encyclopedie-environnement.org/eau/phosphore-et-eutrophisation/>

Abu Bakar, N., Othman, N., Yunus, Z. M., et al. (2019). Physico-chemical water quality parameters analysis on textile wastewater. *Journal of Physics: Conference Series*, 1349(1), 012051.

Ballay, D., & Blais, J. F. (1998). *Traitement des eaux usées : principes et procédés*. Montréal, Canada : Presses Internationales Polytechnique.

Berland, J. M., et al. (2001). *Traitement biologique des eaux usées*. Paris, France : Techniques de l'Ingénieur.

Bibi, M., Rashid, J., Malik, M., Iqbal, A., & Xu, M. (2023). Physicochemical analysis and detection of exceptionally high diclofenac concentration in the pharmaceutical wastewaters collected from the production units of National Industrial Zone, Rawat, Pakistan. *Applied Water Science*, 13(7), 157.

Centre d'Information sur l'Eau (CIEAU). (2023). *Les pollutions chimiques de l'eau*. Paris, France : CIEAU.

Dawood, M. A., et al. (2023). Pharmaceutical wastewater treatment and environmental impacts. *Environmental Technology Reviews*, 12(1), 45–62.

Desjardins, R. (1997). *Le traitement des eaux* (2e éd.). Montréal, Canada : Éditions de l'École Polytechnique de Montréal.

Devillers, J., et al. (2005). *Paramètres de qualité des eaux et pollution*. Paris, France : Lavoisier.

Eurofins Biomnis. (2024). *Métaux lourds et pollution industrielle*. Lyon, France : Eurofins Biomnis.

Faby, J. A., & Brissaud, F. (1997). *Techniques de décantation appliquées au traitement des eaux usées*. Paris, France : Office International de l'Eau.

Faouzi, J., Rezouki, S., Bourhia, M., et al. (2023). Assessment of impacts of industrial effluents on physico-chemical and microbiological qualities of irrigation water of the Fez River. *Water Practice and Technology*, 18(6), 1456–1470.

Ganthavee, V., & Trzcinski, A. P. (2024). Emerging contaminants in pharmaceutical wastewater: challenges and treatment strategies. *Environmental Science and Pollution Research*.

Ghoualem-Saouli, D. (2007). *Traitement des eaux usées par lagunage naturel*. Mémoire de Magister, Université de Batna, Algérie.

Henze, M., van Loosdrecht, M. C. M., Ekama, G. A., & Brdjanovic, D. (2008). *Biological wastewater treatment: Principles, modelling and design*. Londres, Royaume-Uni : IWA Publishing.

ILOCIS. (2022). *Pollution générée par l'industrie textile*. Genève, Suisse : Organisation Internationale du Travail.

IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge, Royaume-Uni : Cambridge University Press.

Islam, M. S., et al. (2024). Textile wastewater pollution and sustainable treatment technologies. *Journal of Water Process Engineering*, 58, 104812.

Khelassi-Sefaoui, A., Khechekhouche, A., Zaoui-Djelloul, M., et al. (2021). Physico-chemical investigation of wastewater from the Sebdou-Tlemcen textile complex, North-West Algeria. *Applied Water Science*, 11(7), 118.

Lateef, E. O., Banjo, T. T., Aina, Y. O., Lateef, S. A., & Agboola, D. A. (2023). Comparative microbiological and physicochemical analysis of domestic and industrial wastewater. *Journal of Environmental Science and Public Health*, 7(3), 215–227.

Lazarova, V., Asano, T., Bahri, A., & Anderson, J. (2003). *Milestones in water reuse: The best success stories*. Londres, Royaume-Uni : IWA Publishing.

Legube, B. (1996). *Traitement des eaux de consommation*. Paris, France : Technique et Documentation – Lavoisier.

Lokhande, R. S., Singare, P. U., & Pimple, D. S. (2012). Study on physicochemical parameters of wastewater effluents. *International Journal of Ecosystem*, 2(6), 237–242.

Mahmoud Bali. (2025). *Cours de traitement des eaux usées et procédés de prétraitement*. Support pédagogique non publié.

Manikandan, K., et al. (2015). Assessment of physicochemical characteristics of industrial wastewater. *International Journal of Environmental Sciences*.

Messrouk, H., Hadj Mahammed, M., Touil, Y., & Amrane, A. (2014). Physico-chemical characterization of industrial effluents from the town of Ouargla (South-East Algeria). *Energy Procedia*, 50, 888–897.

Metahri, M. S. (2012). *Élimination de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes*. Thèse de doctorat, Université Mentouri Constantine, Algérie.

Metcalf & Eddy. (2014). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery* (5th ed.). New York, États-Unis : McGraw-Hill Education.

MITA Water Technologies. (2023). *Industrial wastewater treatment technologies*. Brescia, Italie : MITA Water Technologies.

Mohabansi, N. P., Acharya, G. D., & Rajurkar, N. S. (2011). Physicochemical study of industrial wastewater. *International Journal of ChemTech Research*, 3(2), 908–912.

Moussa, M. (2008). *Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux usées industrielles*. Mémoire de Master.

Organisation mondiale de la Santé (OMS). (2017). *Directives pour la qualité de l'eau potable*. Genève, Suisse : OMS.

Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO). (2017). *Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau*. Paris, France : UNESCO.

Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO). (2023). *Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2023*. Paris, France : UNESCO.

Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO). (2024). *Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2024*. Paris, France : UNESCO.

Pouliot, Y., & De la Noüe, J. (1985). *Traitement biologique des eaux usées*. Québec, Canada : Presses de l'Université Laval.

Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE). (2010). *Sick Water? The Central Role of Wastewater Management in Sustainable Development*. Nairobi, Kenya : PNUE.

Programme des Nations Unies pour l'Environnement (UNEP). (2023). *Global Environment Outlook*. Nairobi, Kenya : UNEP.

Ramade, F. (1989). *Éléments d'écologie appliquée*. Paris, France : McGraw-Hill.

Rejsek, F. (2002). *Analyse des eaux : aspects réglementaires et techniques*. Bordeaux, France : CRDP d'Aquitaine.

Rodier, J., Legube, B., & Merlet, N. (2009). *L'analyse de l'eau* (9e éd.). Paris, France : Dunod.

Saouli, C., & Assabaa, R. (2017). Physicochemical evaluation of industrial wastewater of SAIDAL Group located in the industrial zone Palma of Constantine.

Satin, M., & Selmi, S. (2010). *Guide pratique de traitement des eaux usées*. Paris, France : Lavoisier.

Tariq, M., Anayat, A., Waseem, M., et al. (2022). Physicochemical and bacteriological characterization of industrial wastewater being discharged to surface water bodies.

Tchobanoglous, G., Stensel, H. D., Tsuchihashi, R., & Burton, F. L. (2014). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery* (5th ed.). New York, États-Unis : McGraw-Hill Education.

Tigga, T. M., & Pandey, V. K. (2023). A review on physico-chemical parameters of the quality of water.

UN-Water. (2024). *United Nations World Water Development Report 2024*. New York, États-Unis : Nations Unies.

Vandermeersch, M. (2006). *Gestion et traitement des eaux usées*. Paris, France : Tec & Doc.

WHO. (2017). *Guidelines for Drinking-water Quality* (4th ed.). Geneva, Switzerland : World Health Organization.

Xanthoulis, D. (1993). *Qualité des eaux et irrigation*. Gembloux, Belgique : Presses Agronomiques de Gembloux.

Zeghoud, A. (2014). *Étude physico-chimique des eaux usées industrielles*. Mémoire de Master, Université algérienne.

Annexe



The International Conference on Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability, TMREES14

Physico-chemical Characterization of Industrial Effluents From The Town of Ouargla (South East Algeria)

Houria MESSROUK^(a), Mahfoud HADJ MAHAMMED^(a), Youcef TOUIL^(a), Abdeltif AMRANE^(b)

(a) Laboratoire de biogéochimie des milieux diversifiés université kaddi merbah ouargla Bp 511 30000 ouargla Algeria

(b) Ecole Nationale Supérieure de chimie de Rennes, Université de Rennes 1, CNRS, UMR 6226, 11 allée de Beaulieu, CS 50837, 35708 Rennes Cedex 7, France

Abstract

In order to preserve the quality of our environment and public health, regulatory treatment of pollutants is constantly changing to more restrictive standards. Thus, the problem of organic pollutants has emerged as a major issue in the treatment of industrial wastewater (ERI). The objective of this work was the evaluation of the above organic pollution load of wastewater from some industrial sites in the city of Ouargla (Algeria). The water samples were collected from seven different sites, hospital, washing stations, a slaughterhouse and a processing plastic plant. The physico-chemical characterization of raw sewage revealed that these releases are loaded with organic matter in terms of COD (153.6 to 36120 mg/L) BOD₅ (100 to 4700 mg/L) TSS (29 to 14702 mg/L). For the majority of the studied parameters, Algerian industrial waste often exceeded the required standards, since wastewater has a high organic load (BOD₅ / COD = 0.012 to 0.45 and TSS / BOD₅ = 0.2625 to 73.51, COD / BOD₅ = 2.23 to about 80000), showing in most cases poor biodegradability.

© 2014 Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/>).

Selection and peer-review under responsibility of the Euro-Mediterranean Institute for Sustainable Development (EUMISD)

Keywords: Ouargla, organic pollution, industrial wastewater, chemical oxygen demand, biological oxygen demand, biodegradability

1. introduction

The Ouargla region (South East Algeria) experienced various problems related to water, including discharges of wastewater containing pollutants in the receiving environment without any treatment. This issue is a matter of increasing concern given the side effects that pollutants can cause environmental and health problems. Effluents polluted by organic matter from several sites in the city of Ouargla appeared highly loaded by non-biodegradable organic matter, and hence require a significant effort to find economic methods to reduce this pollution.



Physico-chemical investigation of wastewater from the Sebdou-Tlemcen textile complex North-West Algeria

Asma Khelassi-Sefaoui^{1*}, Abderrahmane Khechekhouche², Manel Zaoui-Djelloul Daouadji^{1,4}, Hamza Idrici³

¹Department of Hydraulic, Institute of Sciences and Technology, University Center of Maghnia, Algeria

²Technology faculty, University of El Oued, Algeria

³ Department of Chemistry, Faculty of Mathematics & Matter Sciences, University of Kasdi Merbah, Algeria

⁴Pollution and waste Treatment Laboratory, University of Kasdi Merbah, Algeria

Correspondence: Email : khelassi_asma@yahoo.fr

ABSTRACT

Wastewater treatment is a process used in several countries, particularly in Algeria. A study on Earth for one month was carried out at the sewage plant of the Sebdou textile complex, Tlemcen, north-west of Algeria. Regular samples gave average values at the outlet such that the water temperature is 22 °C, the pH 7.43, the biochemical oxygen demand BOD₅ is 36.5 mg / l, the chemical oxygen demand COD vary between 100 and 200 mg / l at the exit of the WWTP mg / l and finally suspended solids SS is of the order of 36.2 mg / l. All these values conform with the standards and therefore the treatment plant operates within Algerian standards.

ARTICLE INFO

Article History:

Submitted/Received 06 Dec 2020

First revised 30 Mar 2021

Accepted 23 May 2021

First available online 28 May 2021

Publication date 01 Sep 2021

Keywords:

BOD₅,
COD,
pH,
SS,
Temperature,
Textile,
Wastewater.

PHYSICOCHEMICAL EVALUATION OF INDUSTRIAL WASTEWATER OF (SAIDAL) GROUP LOCATED IN THE INDUSTRIAL ZONE PALMA OF CONSTANTINE (ALGERIA)

C. Saouli* and R. Assabaa

Laboratory Rehabilitation of Ecosystems and Sustainable Development (REDD), Mentouri Brothers University of Constantine, Algeria

*E-mail: saouli.chouaib@umc.edu.dz

ABSTRACT

The main objective of this work is studied the physicochemical evolution of industrial wastewater of SAIDAL Group located in Palma industrial zone of Constantine (Algeria). Bimonthly samples were taken at the collector between the years 2010 and 2012. The results of the analysis presented in this work have shown that the wastewaters of 2010 have maximum temperatures up to 16.1°C. The pH is between 7.51 and 8.41, Conductivity ranges from 29 to 13160 [µs/cm], the material in suspension is between 1-28 mg/L and dissolved oxygen fluctuates 5.2-6.4 mg/L, the pollutant load is between 18.09-444.15 mg/L. The wastewaters of 2011 have maximum temperatures up to 22 °C. The pH is between 1.29 and 12.06, the conductivity varies between 1057 and 26200 [µs/cm], suspended matter between 3 and 212 mg/L and dissolved oxygen ranges 5.8-12.9 mg/L the pollution load is between 106.565 and 441.618 mg/L. The Wastewaters of 2012 have maximum temperatures up to 21 °C. The pH is between 7.51 and 10.75, the conductivity varies between 206 and 14200 [µs/cm], suspended matter ranges from 1 to 57 mg/L and dissolved oxygen ranges 5.2 and 6.9 mg/L, the pollution load is between and 304 339 mg/L. The Bacteriological analysis of the wastewater showed that the concentrations of acid-base and oxidizing chemicals are very high and physicochemical parameters exceed the limits of the Algerian Ministry of environmental values.

Keywords: Pollution, pharmaceutical Releases, Physicochemical parameters, Pollution, Wastewater.

© RASAYAN. All rights reserved

INTRODUCTION

Water is an essential component of most major processors of food products of animal origin. After being used, the largest part of the process effluent is returned to the environment. As this water is usually loaded with organic matter, it becomes an important source of pollution to the surroundings who receives it.

The SAIDAL group manufactures pharmaceutical and syrup of insulin, the behavior of insulin is of amino acids and the behavior of syrup it's more like molecule alertine, bromehexine, HCl, encofluide adult, oxyldine sitrate, and salbutamol valcine. It is for that finds them several molecules in water-worn by this group, responsible for the physicochemical and bacteriological quality of industrial wastewater group (SAIDAL). Several studies have interested in characterization and treatment of this type of wastewater through treatment plants or by aerobic processes.¹⁻³ Either by anaerobic processes.³⁻⁷ Other methods of treatment are adopted for sewage namely sand infiltration⁸⁻⁹ and electrocoagulation.¹⁰⁻¹²

EXPERIMENTAL

Study Site

The group of SAIDAL (Fig.-1) has located the city of Constantine and the town was the center of eastern Algeria distance of 420 km from the capital Algiers, SAIDAL group manufactures pharmaceutical and insulin syrup.

Sampling and analysis of wastewater

The physicochemical parameters are determined from the quarterly and bimonthly samples (years 2010, 2011 and 2012). Conservation of wastewater samples was done according to the general guide to the



CHARACTERIZATION OF INDUSTRIAL WASTEWATER PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES

A. Adam N. Saffaj R. Mamouni M. Ait Baih

*Laboratory of Biotechnology, Materials, and Environment, Faculty of Sciences, Ibn Zohr University, Agadir, Morocco
adam.abdeljalil@gmail.com, saffaj@gmail.com, r.mamouni@uiz.ac.ma, liraqimoh@gmail.com*

Abstract- Permanent Because the operations of industrial activity are aimed at gratifying consumers, industries, in general, utilize natural resources such as water to increase their production rate. However, in consideration of the paucity of these resources and the regulatory environment, these businesses are being urged to take steps to ensure long-term development and resource protection. In this study and Based on a practical investigation for an industrial site in the south of Morocco, we evaluated the variation of wastewater Physico-chemical parameters over one year. The results of analyzing the wastewater show a significant rise in Physico-chemical characteristics as a result of its storage, consequently, we are seeing an increase in water pollution. Using correlation statistical approaches, the significantly linked wastewater parameters were determined. The correlation method established in the study can be used to monitor wastewater quality parameters by evaluating the highest correlated metrics for the treatment purpose, as evidenced by a comparison of the recorded value of different wastewater characteristics. In certain cases, wastewater recycling is given as a control strategy to minimize significant environmental consequences.

Keywords: Industries, Environment, Wastewater, Physico-Chemical Parameters, Correlation.

1. INTRODUCTION

A broad in the 21st century, permanent loss of natural resources, mainly water, and deterioration of their quality remain key challenges.

The worldwide need for high-quality water, whether for consumption, sanitary, agriculture, or industrial use, has been steadily increasing over time, and there has been significant debate over water treatment and recycling, which requires the tightest requirements [1].

The majority of Morocco's water resources are traditional. Water recycling of wastewater is an example of non-conventional water resources that have recently been developed to reduce resource extraction and protect the environment [2].

Wastewater treatment to decrease pollution is a critical requirement in today's society to protect natural resources. This can be accomplished by employing a variety of ways to reduce contamination of water and eliminate the problem of wastewater disposal.

During the manufacturing system, several industries use a variety of chemical components, solvents, and solid water, and they discharge effluent water containing substantial chemicals, which is harmful to the environment, humans, and especially aquatic life [3].

Furthermore, due to tight requirements, the water used for industrial units in these businesses cannot be recycled, and thereby the toxic effects must be decreased to protect the environment [1].

Among the toxins and pollutants found in wastewater are:

- Dietary supplements (nitrogen, phosphorous, potassium)
- Microorganisms that cause diseases like bacteria and viruses.
- Heavies metals such as Zinc, Nickel Cadmium, Mercury Chromium.
- Organic pollutants like pesticides, and biodegradable organics (BOD and COD)
- Micropollutants are small particles that pollute the environment like cleaning agents.

These contaminants have a serious impact on the environment [4].

Heavy metal contamination, inflammation, and bacterial diseases, as well as nutrient enrichment, are some of the negative impacts. hazardous material release and nutrient enrichment are all outcomes of oxygen depletion. To avoid these undesirable and dangerous consequences, wastewater that is released into diverse water sources must be appropriately treated [5].

By examining the wastewater of an industrial site in the south of Morocco, we will highlight the inconvenience for all industrial sites that used to discharge their wastewater in the environment (water, soil, Etc). Physico-Chemical examination of the presence of water contaminants was carried out in this study. To link the physicochemical properties, statistical processing was used to define the most typical associations.

Physico-Chemical Water Quality Parameters Analysis on Textile

Norshila Abu Bakar^{1,4}, N. Othman^{2*}, Z. M. Yunus³, Zawawi Daud², Nur Salsabila Norisman¹ and Muhammad Haziq Hisham¹

¹ Faculty of Civil Engineering & Built Environment, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, 86400 Parit Raja, Johor, MALAYSIA

² Micropollutant Research Centre, Faculty of Civil Engineering & Built Environment, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, 86400 Parit Raja, Johor, MALAYSIA

³ Department of Physics and Chemistry, Faculty of Applied Sciences and Technology, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, 84600 Panchor, Johor, MALAYSIA

⁴ Department of Civil Engineering, Politeknik Sultan Abdul Halim Mu'adzam Shah, Bandar Darulaman, 06000 Jitra, KEDAH

*Corresponding author: norzila@uthm.edu.my

Abstract. The prevention of pollutants from textile wastewater is important to ensure a healthy life and sustainability of local development. This paper aims to determine the concentration of the physico-chemical water quality parameters in textile wastewater taken from a textile factory at Sri Sulong, Batu Pahat, Johor of Malaysia. The samples were directly brought to the laboratory for analysis, and the content of textile wastewater quality was characterized using physico-chemical analyses including temperature, pH, electrical conductivity (EC), turbidity, dissolved oxygen (DO), chemical oxygen demand (COD), biochemical oxygen demand (BOD), total suspended solids (TSS), colour, alkalinity, total dissolved solids (TDS), and heavy metals (cadmium, copper, ferum, manganese, lead, and zinc). The results also indicated some of the parameters for final discharge textile wastewater could not be safely discharged because they did not comply with the standards of Standard B such as COD, BOD, colour, TSS, cadmium, and zinc. The results of this studies showed that the concentrations of COD, BOD, colour, TSS, cadmium, and zinc were between the range of 55 – 294 mg/L, 7.1 – 85 mg/L, 17 – 140 mg/L, 69 – 205 mg/L, 0.001 – 0.047 mg/L, and 0.488 – 2.220 mg/L respectively, higher than the values in Standard B. Textile wastewater is classified by pollution severity as strong wastewater. This study provides an understanding and assists in selecting suitable treatment for textile industrial wastewater prior to discharge to comply with the standard permissible of the environmental quality act.

1. Introduction

Malaysia's textile and clothing industry is one of the country's largest established manufacturing sectors. As for the export performance of textile manufacturing, there was an increase of RM 9238 million in 2016 that shows its important component in the national economy [1]. According to Mokhtar et al. [2], besides the largest manufacturing textile, in case of the production side, large quantities of wastewater with various concentrations of pollutants are generated from the textile manufacturing process. Textile facilities are not allowed to discharge their wastewater into an aquatic environment or canalization. Instead, it requires the wastewater treatment plant that has a drainage system and must comply with the emission limit according to the receiving system.



Content from this work may be used under the terms of the [Creative Commons Attribution 3.0 licence](https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/). Any further distribution of this work must maintain attribution to the author(s) and the title of the work, journal citation and DOI.

Research Article

Physicochemical and Bacteriological Characterization of Industrial Wastewater Being Discharged to Surface Water Bodies: Significant Threat to Environmental Pollution and Human Health

Muhammad Tariq,¹ Alia Anayat,² Muhammad Waseem¹,
Muhammad Hidayat Rasool¹, Muhammad Asif Zahoor,¹ Shafaqat Ali^{3,4},
Muhammad Rizwan,³ Mohamed M. Abdel-Daim^{5,6} and Saad Alkahtani⁵

¹Department of Microbiology, Faculty of Life Science, New Campus, Government College University, 38040 Faisalabad, Pakistan

²Soil & Water Testing Laboratory, Ayub Agricultural Research Institute, Jhang Road, 38000 Faisalabad, Pakistan

³Department of Environmental Sciences and Engineering, Government College University, Faisalabad-38000, Pakistan

⁴Department of Biological Sciences and Technology, China Medical University, Taichung 40402, Taiwan

⁵Department of Zoology, College of Science, King Saud University, P.O. Box 2455, Riyadh 11451, Saudi Arabia

⁶Pharmacology Department, Faculty of Veterinary Medicine, Suez Canal University, Ismailia 41522, Egypt

Correspondence should be addressed to Muhammad Waseem; muhammad.waseem@gcuf.edu.pk and Shafaqat Ali; shafaqataligill@gcuf.edu.pk

Received 15 February 2020; Revised 27 April 2020; Accepted 4 May 2020; Published 23 May 2020

Academic Editor: Franck Rabilloud

Copyright © 2020 Muhammad Tariq et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

In developing countries, various sociodemographic and climatic factors such as urbanization, industrialization, and improved living standard, and water and energy demands will all characterize wastewater's future. Increasing population and water shortage are the main driving forces for the reuse of untreated wastewater for irrigation and other uses in many poor countries, posing a significant threat to global food security. Although wastewater contains essential nutrients required for plant growth, it also contains toxic heavy metals and pathogens that pose a significant threat to the environment and human health. Present research work was carried out to study important physicochemical and microbiological parameters of industrial wastewater collected from various discharged points at different locations of Kala Shah Kaku (KSK) city, Pakistan. Physicochemical parameters such as pH, temperature, sodium, calcium, magnesium, bicarbonates, sodium adsorption ratio, chlorides, and heavy metals such as nickel, cadmium, and iron of all industrial wastewater samples were within the standard limits. However, certain water's quality parameters such as TSS, BOD, COD, residual sodium carbonate, heavy metals such as chromium, and total suspended solids of all samples were exceeding the maximum allowable limits listed by Pakistani Standards. Carbonates, manganese, and cobalt were not detected in any of the wastewater samples. Total viable count and total coliform counts were higher in all samples describing low levels of sanitation. Contamination of fecal coliform and *Escherichia coli* was observed in about 50% of the studied wastewater samples. The overall results focus on the discharge of highly polluted wastewater in and around KSK city. Indirectly it creates significant threats to environmental pollution and human health. Continuous monitoring of physicochemical and microbial indicators of effluent's quality for its reuse for irrigation purpose is proposed to safeguard the public health and environment.

1. Introduction

Anthropogenic activities such as industrialization and urbanization have resulted in an adverse impact on the ecosystem in terms of deterioration and scarcity of fresh water

[1], posing a significant threat to global food security [2]. About 60% of the world's population may undergo physical shortage of water by the year 2025 [3]. Thus, higher water demands of increasing population are considered the main driving forces for the reuse of wastewater for urban and

