



**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR**

**ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA**

Faculté des Sciences Appliquées



Département de Génie des Procédés

Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Science et Technologie

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Génie des Procédés de l'Environnement

Présenté par :

Kherfi Abderraouf et Berrinouba Mohammed Rafik

Thème :

**Elimination des ions de fer des eaux industrielles d'une usine CPF à
l'aide d'un filtre en coquille d'œuf**

Devant le jury composé de :

Dr. Ridha CHERRAYE MCA (UKM Ouargla)

Président

Dr. Hind BOUAFIA MCB (UKM Ouargla)

Examineur

Dr. Hacini Zineb MAA (UKM Ouargla)

Encadrante

M. Hebbiche Ahmed ingénieur analyse

Co-encadrant

Année universitaire : 2023/2024

REMERCIEMENTS

Remerciements et louanges à Dieu, de m'avoir donné la foi et la force pour accomplir ce modeste travail. Prière et salut sur notre prophète Mohammed et sur sa famille et ses compagnons.

*Nos remerciements les plus vifs et chaleureux, vont à notre encadrant de mémoire **Hacini Zineb** à l'Université de Ouargla pour son aide, son orientation judicieuse et sa disponibilité, aussi pour la confiance, la patience et la compréhension qu'elle nous a toujours manifestés.*

*Nous adressons, aussi nos remerciements aux **membres du Jury** qui ont accepté d'examiner ce mémoire en lui apportant de l'intérêt, à l'Université d'Ouargla.*

Nous adressons également nos remerciements aux membres du comité d'arbitrage qui ont accepté d'étudier avec intérêt cette thèse à l'Université d'Ouargla.

*Nous remercions également beaucoup ceux qui nous ont prêté un coup de main, ingénieur analyse **Hebbiche Ahmed***

Nous voulons aussi exprimer notre vive reconnaissance envers tous les enseignants de l'Université d'Ouargla

Dédicace :

C'est un grand honneur de nous dédier ce modeste travail

*A ceux qui m'ont encouragé et soutenu moralement et
matériellement pendant les moments difficiles durant ma vie
A ma très chère mère, qui me donne toujours l'espoir de vivre
et qui n'a jamais cessé de prier pour moi
A mon très cher père*

A mes très chers :

A mes très chères sœurs et frères

A toute mes oncles et tantes

A toute ma grande famille : Kherfi

*A mes très chers amis : Imad, Ibrahim, Zouhir, Abderrazak,
Abdelbassit, Abdelmadjid*

Abdenmour, Lakhdar, Mohammed, Islam, Zakaria

A tous mes amis partout et en particulier

*Et sans doute, à mes très chers amis à l'université d'Ouargla
la fin nous dédions très chaleureusement Ms :*

Hacini Zaine

Kherfi Abderraouf

Dédicace

Je dédie cet humble travail

Pour ceux qui ont été la raison de mon existence

Ma mère et mon père,

que Dieu les bénisse

*Et à mes frères et sœurs qui m'ont soutenu et encouragé à
terminer mes études.*

Et à mes amis sans exception

A toute ma grande famille : Berrinouba

*Et à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin et m'ont aidé à
réaliser ce mémorandum*

Et à mes chers amis de l'Université d'Ouargla

Je voudrais particulièrement mentionner le superviseur

Mr.Hacini Zaine

Berrinouba Mohammed Rafik

المخلص:

يركز المجتمع العلمي حالياً على قضايا البيئة وتدهورها الناتج عن الإدارة غير المستدامة للنفايات وزيادة الطلب على مصادر الطاقة، خصوصاً الغاز. تبذل الجهات العالمية والمصنعون جهوداً كبيرة للحد من التلوث باستخدام تقنيات حديثة للوقاية والمعالجة. المياه الناتجة عن معالجة الغاز الخام والصناعية من محطات التكرير تحتوي على معادن ثقيلة وجسيمات صلبة. يهدف هذا العمل إلى إزالة الحديد من المياه الخارجة من محطة معالجة الغاز الطبيعي في مصنع CPF ولتقييم جودة المياه ومستوى تلوثها قبل تصريفها في البيئة (حوض التبخر الطبيعي) عبر تحليل المياه عند مخرج وحدة معالجة المياه الصناعية.

الكلمات المفتاحية: البيئة؛ المياه الصناعية؛ المعادن الثقيلة ؛ CPF

Résumé :

La communauté scientifique se concentre actuellement sur les problèmes environnementaux et leur dégradation due à une gestion non durable des déchets et à une demande accrue de sources d'énergie, en particulier le gaz. Les organismes mondiaux et les fabricants déploient de grands efforts pour réduire la pollution en utilisant des technologies modernes de prévention et de traitement. Les eaux issues du traitement du gaz brut et des industries des raffineries contiennent des métaux lourds et des particules solides. Ce travail vise à éliminer le fer des eaux provenant de la station de traitement du gaz naturel de l'usine CPF afin d'évaluer la qualité de l'eau et son niveau de pollution avant de la rejeter dans l'environnement (bassin d'évaporation naturel) en analysant l'eau à la sortie de l'unité du traitement des eaux industrielles

Mots clés : environnement ; eaux industrielles ; CPF ; métaux lourds.

Abstract:

The scientific community is currently focusing on environmental issues and their degradation resulting from unsustainable waste management and the increased demand for energy sources, particularly gas. Global entities and manufacturers are making significant efforts to reduce pollution by using modern prevention and treatment technologies. The water resulting from the treatment of raw gas and industrial operations at refineries contains heavy metals and solid particles. This work aims to remove iron from the water discharged from the natural gas processing plant at the CPF facility to assess the water quality and pollution levels before discharging it into the environment (natural evaporation pond) by analyzing the water at the outlet of the industrial water treatment unit

Keywords : environnement ; industrielles water ; CPF ; heavy metals

Liste des tableaux

Tableau II. 1 : Répartition des métaux lourds dans le Tableau périodique	12
Tableau II. 2 : valeurs moyennes des métaux lourds dans le monde	14
Tableau II. 3 : Normes de rejet d'effluent en Algérie	17
Tableau III. 1 : Les Matériaux et Les Equipements et Qualité	21
Tableau III. 2 : caractéristique de l'échantillon	24
Tableau IV. 1 : variation de la messe	33
Tableau IV. 2 : variation de la Température	34
Tableau IV. 3 : variation de la vitesse	35
Tableau IV. 4 : variation du temps du contact	35

Liste des figures

Figure III.1 : Le séparateur d'eau et la sortie des rejets (eaux industrielles)	23
Figure III.2: coquilles d'œufs	24
Figure III.3: le lavage	25
Figure III.4 : coquilles d'œufs après le broyage	25
Figure III.5 : coquilles d'œufs écrasées	26
Figure III.6 : Four de Séchage	26
Figure III.7: Le Tamiseur	27
Figure III.8 : la poudre des coquilles d'œufs	27
Figure IV.1 : échantillon avec quatre différents types de masse	33
Figure IV.2 : échantillon après l'augmentation la Température	34
Figure IV.3 : échantillon après la procédure d'agitation	35
Figure IV.4 : échantillon après l'augmentation du temps du contact	36

Liste des abréviations

EUI : eaux usées industrielles

pH : potentiel hydrogène

DBO : Demande biochimique ou biologique en oxygène

HC : Hydrocarbures

DMES : Détermination Matières en Suspension

rpm : révolution per minute

mm : millimètre

T : Température

C : Concentration

AgNO₃ : Nitrate d'argent

K₂CrO₄ : chromate de potassium

LDS : Design Différence la moins significative

F : degré de liberté

S-U-V : source de variation

t : le nombre de transaction dans l'expérience

r : Nombre de vues

S.S. T : somme totale des carrés

M.S.t : coefficients de la moyenne des carrés

CF : facteur de correction

S.S.t : somme des carrés

S.S.e : somme des carrés des erreurs

M.S.e : erreurs quadratiques moyenne

Dédicace	I
Remerciements	II
Résumé	IV
Liste des Tableaux	V
Liste des Figures	VI
Liste des abréviations	VII
Sommaire	VIII
Introduction général	1
Chapitre I : Les eaux industrielles	
1. Introduction	4
2. Définition des eaux usées industrielles	5
3. Sources des déchets liquides industriels	5
3.1. Industrie alimentaire	6
3.2. Industrie métallurgique	6
3.3. Isotopes radioactifs	6
3.4. Centrales électriques à combustibles fossiles	7
3.5. Industries manufacturières	7
3.6. Industries agroalimentaires	7
3.7. Industries électroniques	7
3.8. Industries pharmaceutiques	7
3.9. Activités agricoles	7
4. Risque de pollution d'eau industriel sur la santé humaine	8
5. Impact des eaux usées industrielles sur la pollution des rivières, des cultures et des sols	8
6. Impact des eaux usées industrielles sur le réseau d'égouts publics et les stations de traitement	9
7. Principales industries dans les pays arabes	9
7.1. Syrie	9
7.2. Égypte	10
7.3. Arabie saoudite	10
7.4. Qatar	10

7.5. Algérie	10
Chapitre II : Métaux lourds	
1. Introduction	12
2. Métaux lourds	12
3. Sources des métaux lourds	13
3.1. Sources naturelles	13
3.1.1. Altération des roches minéralisées	13
3.1.2. Éruptions volcaniques	13
3.2. Sources humaines	13
3.2.1. Activités minières	13
3.2.2. Activités industrielles et agricoles	13
3.2.3. Combustion de mazout	13
3.2.4. Brûler du charbon dans les centrales électriques	14
3.2.5. Centrales nucléaires	14
3.2.6. Conduites à haute pression	14
3.2.7. Microélectronique	14
3.2.8. Usines de préservation du bois et de transformation	14
4. Impact des métaux lourds sur la santé humaine et sur l'environnement	15
5. Toxicité des métaux lourds sur la santé humaine et sur l'environnement	15
6. Effet des ions ferreux sur la santé humaine et sur l'environnement	15
6.1. Impact sur la santé humaine	15
6.2. Impact sur l'environnement	16
7. Normes réglementation (normes algériennes)	16
8. Conclusion	17
Chapitre III : Matériels et méthodes	
1. Introduction	20
2. Méthodes et Matériels	21
3. L'usine CPF Gassi Touil	22
4. Échantillon d'étude	23
5. Caractéristiques de l'échantillon	24
6. Méthode de Travail	24
6.1. Préparation de la coquille d'œufs	24
7. Etapes du Traitement	28

8. Spectrophotomètre	29
8.1. Définition	29
8.2. Mode de l'opérateur	29
Chapitre IV : Résultats et discussions	
1. Introduction	32
2. Effet du traitement	33
2.1. L'effet de la masse de matière absorbante	33
2.2. L'effet de la température sur le processus d'adsorption	34
2.3. L'effet de la vitesse du mélange sur le processus d'adsorption	35
2.4. L'effet du temps de contact sur le processus d'adsorption	35
3. Design Différence la moins significative – LDS	36
3.1. Test Différence Significative	37
Conclusion générale	39
Références bibliographiques	41

Introduction générale

Introduction générale

"L'eau dans le monde est le sang de nos corps" disait Léonard de Vinci. Que ce soit en surface ou souterraine, l'eau est l'élément essentiel de notre vie et le facteur déterminant par excellence. En conséquence, la préservation des ressources en eau à travers une gestion rationnelle est devenue la préoccupation majeure des autorités publiques, des décideurs politiques, des entreprises et des citoyens ordinaires.

Considérée comme un facteur essentiel dans le niveau de vie des sociétés et leur développement, la qualité de l'eau est menacée par la pollution, un facteur dangereux qui a poussé les autorités publiques à proposer des systèmes de traitement de l'eau de plus en plus stricts. Ces systèmes reposent sur le développement de nouvelles technologies qui permettent, dans certains cas, de réutiliser l'eau et, dans d'autres, de protéger l'environnement en préservant les zones humides protégées par la Convention de Ramsar.[1]

Les métaux lourds, lorsqu'ils dépassent leur concentration normale, sont considérés comme l'un des polluants les plus dangereux de l'eau. Parmi ces métaux, on trouve le fer. L'augmentation de la concentration en fer est due à l'abondance de minerai de fer dans ces régions. Bien que le fer soit un élément essentiel à l'homme, certaines études indiquent que des niveaux de fer dissous d'environ 0,5 mg/L sur une période relativement longue peuvent entraîner une intoxication chez les enfants. D'un point de vue économique, des concentrations de fer supérieures à 1 mg/L entraînent une odeur désagréable et une coloration brun clair de l'eau. Dans ce cas, le fer peut précipiter sous forme d'hydroxyde rouge et se coller aux appareils ménagers, aux tuyaux d'eau, aux vêtements et même aux dents des enfants.

Parmi les techniques utilisées pour éliminer les métaux lourds toxiques, l'adsorption des ions de fer par les coquilles d'œufs a montré des performances techniques et économiques prometteuses.

L'adsorption est l'une des opérations les plus efficaces et les plus avancées dans le traitement de l'eau. Elle permet de réduire l'impact des composés organiques et inorganiques dangereux présents dans les eaux usées après un traitement classique. Elle est également utilisée pour éliminer les composés organiques et inorganiques nocifs des eaux polluées.

L'objectif de notre étude est de présenter cette nouvelle technique (élimination des ions ferreux des eaux industrielles par la poudre de coquille d'œuf). Nous avons également évoqué les eaux industrielles, les métaux lourds et la pollution qu'ils engendrent. Enfin, nous avons mené une expérience concrète pour observer l'effet de cette technique sur le terrain.

Ce mémoire comporte quatre chapitres :

- ❖ Dans le premier chapitre nous donnons des généralités sur les eaux industrielles.
- ❖ Dans le deuxième chapitre est consacré à la présentation des généralités sur métaux Lourds
- ❖ Dans le troisième chapitre nous présentons la procédure expérimentale (Méthode et Procédure) mise en place au cours de cette étude.
- ❖ Dans le quatrième chapitre est consacré à la présentation de différents résultats Obtenus ainsi que leurs discussions.

Chapitre I :

Les eaux industrielles

1. Introduction :

Les eaux usées industrielles (EUI) désignent toutes les eaux provenant d'activités industrielles et commerciales qui ne sont ni des eaux usées domestiques ni des eaux pluviales. Elles proviennent d'une large gamme de secteurs, tels que les industries manufacturières, y compris l'agroalimentaire, le textile, la chimie, la métallurgie, la papeterie, ainsi que le secteur pétrolier et gazier. La production d'énergie dans les centrales thermiques, hydroélectriques et nucléaires, le traitement des minerais dans les mines et les usines de traitement et d'enrichissement, les chantiers de construction et les installations de production de matériaux, ainsi que les services de transport comme les ateliers de réparation automobile, les garages et les aéroports, sont également des sources de ces eaux. Enfin, les activités de santé, notamment les hôpitaux et les laboratoires médicaux, contribuent aussi à la génération des EUI.

Contrairement aux eaux usées domestiques, les EUI présentent une composition et une variabilité considérables en fonction de leur source. Elles peuvent contenir un large éventail de polluants, notamment des matières organiques comme les déchets alimentaires, les résidus de fibres végétales, les huiles et les graisses. Elles peuvent aussi renfermer des produits chimiques tels que les solvants, les acides, les bases, les pesticides et les produits pharmaceutiques, ainsi que des métaux lourds comme le mercure, le plomb, le cadmium, l'arsenic et le chrome. Les EUI peuvent également contenir des nutriments tels que le phosphore, l'azote et l'ammonium, des matières en suspension comme le sable, les boues et les particules solides, ainsi que des micropolluants tels que les résidus pharmaceutiques, les perturbateurs endocriniens et les produits chimiques émergents.

Le rejet non traité des EUI dans l'environnement constitue une menace importante pour la qualité des ressources en eau et les écosystèmes aquatiques. Les polluants contenus dans ces eaux peuvent causer des dommages significatifs, tels que l'eutrophisation, qui est la prolifération d'algues due à un excès de nutriments, appauvrissant l'oxygène et nuisant à la vie aquatique. La toxicité est un autre problème majeur, provoquant l'empoisonnement des poissons, des invertébrés et d'autres organismes aquatiques par les métaux lourds et les produits chimiques. Les perturbateurs endocriniens peuvent altérer le développement et la reproduction des espèces aquatiques, tandis que la dégradation de l'habitat par la sédimentation et l'accumulation de polluants détruit les habitats aquatiques.

La gestion efficace des EUI est essentielle pour protéger l'environnement et la santé humaine. Elle implique plusieurs étapes clés : la caractérisation, qui consiste à analyser les EUI

pour identifier et quantifier les polluants présents ; le prétraitement, qui vise à éliminer les gros débris et les substances flottantes avant le traitement principal ; et le traitement, qui utilise différentes technologies pour éliminer les polluants spécifiques, telles que la filtration, la neutralisation, la précipitation et la dégradation biologique. La réutilisation des EUI traitées est également une option, permettant de les utiliser à d'autres fins comme l'irrigation agricole ou l'arrosage des espaces verts. Enfin, le rejet des EUI traitées doit se faire selon des normes réglementaires strictes.[2]

Les eaux usées industrielles représentent un défi environnemental majeur, mais des solutions existent pour les gérer de manière durable. En adoptant une approche proactive de la gestion des EUI, les industries, les gouvernements et les communautés peuvent protéger nos ressources en eau et assurer un avenir sain pour les générations futures.

2. Définition des eaux usées industrielles :

Les eaux usées industrielles sont celles résultant des processus industriels, qu'il s'agisse d'installations alimentaires (fabrication de levure, mise en conserve des légumes) ou d'industries techniques (taille de pierres) ou chimiques (fabrication d'engrais et de pesticides). Les spécifications des eaux usées industrielles diffèrent de celles des eaux usées domestiques, ces dernières ayant une composition relativement connue, tandis que la composition des eaux usées industrielles varie en fonction du type d'industrie.

Les eaux usées industrielles se distinguent par leur variation d'intensité selon les heures de travail quotidien, à la fois en termes de débit et de charge polluante. Certaines eaux usées contiennent une pollution organique biodégradable, comme dans les industries alimentaires, tandis que d'autres contiennent une pollution métallique, comme dans les industries de la galvanoplastie. D'autres encore combinent à la fois une pollution organique et métallique, telles que l'industrie papetière, entre autres.[2]

3. Sources des déchets liquides industriels :

Il est bien connu que l'eau est l'une des matières premières principales utilisées dans la plupart des étapes de fabrication des différentes industries, mais la majeure partie de cette eau traverse les étapes de production et est éliminée ensuite après avoir été plus ou moins polluée par divers polluants provenant des différentes industries, telles que l'industrie alimentaire, l'industrie métallurgique et les isotopes radioactifs, Centrales électriques à

combustibles fossiles, Industries manufacturières, Industries agroalimentaires, Industries électroniques, Industries pharmaceutiques, Activités agricoles.

Définitions des sources de déchets liquides industriels :

3.1. Industrie alimentaire :

L'industrie alimentaire est un vaste secteur qui englobe la transformation des matières premières agricoles en produits alimentaires consommables. Elle comprend un large éventail d'activités, de la production agricole à la transformation, à l'emballage, à la distribution et à la vente au détail des aliments. Les exemples d'entreprises de l'industrie alimentaire incluent les fabricants de produits alimentaires et de boissons, les épiciers, les restaurants et les services de restauration.

3.2. Industrie métallurgique :

L'industrie métallurgique est le secteur qui traite des métaux et de leurs alliages. Elle comprend l'extraction des minerais métalliques, l'affinage des métaux, la fabrication de produits semi-finis et finis en métal, et le recyclage des déchets métalliques. Les exemples d'entreprises de l'industrie métallurgique incluent les mines, les fonderies, les aciéries et les usines de fabrication de produits métalliques.

3.3. Isotopes radioactifs :

Les isotopes radioactifs sont des atomes d'un même élément qui ont un nombre différent de neutrons dans leur noyau. Ils sont instables et se désintègrent spontanément en émettant des rayonnements (particules alpha, bêta ou gamma) et en libérant de l'énergie. Les isotopes radioactifs ont de nombreuses applications, notamment dans le domaine médical (imagerie médicale, radiothérapie) la recherche scientifique et la production d'énergie nucléaire.

3.4. Centrales électriques à combustibles fossiles :

Ces centrales constituent une source majeure de déchets liquides industriels, rejetant de grandes quantités d'eau contenant des métaux lourds tels que le plomb, le mercure, le cadmium et le chrome, ainsi que des composés d'arsenic, de sélénium et de nitrate/nitrite d'azote.

3.5. Industries manufacturières :

Ce secteur englobe une vaste gamme d'activités, comme la fabrication de produits chimiques, le raffinage du pétrole, la fabrication de papier et de textiles, qui toutes génèrent des déchets liquides variés comprenant des produits chimiques organiques, des solvants, des métaux lourds et d'autres polluants.

3.6. Industries agroalimentaires :

Ces industries produisent des déchets liquides riches en matières organiques, telles que les graisses, les protéines et les restes de nourriture, qui peuvent causer des problèmes environnementaux s'ils ne sont pas traités correctement.

3.7. Industries électroniques :

L'utilisation de produits chimiques dangereux, tels que des acides et des métaux lourds, dans ces industries peut entraîner leur infiltration dans les déchets liquides et polluer l'environnement.

3.8. Industries pharmaceutiques :

Les déchets liquides issus de ces industries contiennent des résidus de médicaments et d'autres produits chimiques qui peuvent nuire à la vie aquatique s'ils ne sont pas traités adéquatement.

3.9. Activités agricoles :

L'utilisation intensive d'engrais et de pesticides en agriculture peut entraîner leur infiltration dans le sol et les eaux souterraines, aboutissant à des déchets liquides polluant l'environnement.

4. Risque de pollution d'eau industriel sur la santé humaine :

L'élimination des eaux usées industrielles sans traitement préalable entraîne une pollution chimique, biologique et thermique supplémentaire dans les eaux usées ou dans les plans d'eau qui les reçoivent. La qualité et la nature de cette pollution dépendent de la composition chimique et biologique des eaux usées industrielles, ainsi que de la surface et de la nature du plan d'eau dans lequel elles sont déversées.

La plupart des normes établies par l'Organisation mondiale de la santé et les pays développés pour certains polluants majeurs sont des normes "indicatives" reflétant nos

connaissances actuelles sur les effets de ces polluants. Ces normes sont révisées dans certains pays développés chaque fois que de nouvelles informations sur leurs effets sanitaires sont disponibles.

Les effets sanitaires des eaux usées industrielles sur l'homme sont souvent le résultat de la consommation d'eau et d'aliments contaminés. Le rejet inadéquat des eaux usées industrielles sur le sol et dans les cours d'eau a entraîné la pollution des eaux souterraines et de surface dans de nombreuses régions du monde, et leur déversement dans les rivières, les lacs et les eaux côtières peut entraîner l'accumulation de certains polluants chimiques dans les écosystèmes aquatiques (en particulier les poissons et les mollusques), qui, une fois consommés par l'homme, peuvent causer divers problèmes de santé.[3]

5. Impact des eaux usées industrielles sur la pollution des rivières, des cultures et des sols :

La composition biologique naturelle des organismes présents dans les rivières peut varier avec le temps et l'emplacement le long du cours d'eau. Les caractéristiques de l'eau à la fin du cours d'eau diffèrent considérablement de celles du début du cours d'eau. Il peut donc être parfois difficile de mesurer les changements dans les caractéristiques naturelles de l'eau des rivières du point de vue chimique, mais ce changement se reflète souvent dans la modification du contenu en organismes aquatiques qui y résident. Il devient donc facile de détecter et de mesurer le degré de pollution de la rivière par des méthodes biologiques. Comme les eaux de rivière ont de nombreuses utilisations en plus d'être riches en organismes vivants, la pollution de la rivière modifie leur nature et affecte les utilisations auxquelles l'homme est habitué, qu'il s'agisse d'irrigation, de baignade, de pêche ou de fourniture d'eau douce pour un usage domestique et industriel.

Comme de nombreuses sources d'eaux usées industrielles se caractérisent par une forte concentration en sels, l'élimination ou l'utilisation des eaux usées industrielles pour l'irrigation entraîne l'accumulation de sels et de certains composés, ce qui modifie la structure biologique du sol et diminue ses propriétés agricoles (porosité, perméabilité, pH, etc.), et peut rendre le sol impropre à l'agriculture. La présence de sels et de métaux lourds absorbés par les racines des plantes entraîne une réduction du rendement agricole, en plus du fait que de nombreux métaux lourds s'accumulent biologiquement et sont transférés par le biais des cultures fourragères aux animaux, puis à l'homme.[4]

6. Impact des eaux usées industrielles sur le réseau d'égouts publics et les stations de traitement:

Le rejet d'eaux usées industrielles non traitées dans le réseau d'égouts entraîne une surcharge dépassant la capacité de traitement des stations de traitement des eaux usées. De plus, la présence de métaux lourds dans les eaux usées industrielles transportées par le réseau d'égouts publics peut inhiber le travail des bactéries de traitement, et les boues résiduelles du traitement peuvent contenir des concentrations élevées de métaux lourds, les rendant inaptes à des utilisations agricoles. Leur élimination nécessite des méthodes potentiellement coûteuses, telles que l'enfouissement sanitaire.

7. Principales industries dans les pays arabes :

L'industrie s'est développée de manière significative dans les pays arabes au cours des deux dernières décennies, mais malheureusement, la régulation de la pollution dans ces pays reste inefficace. De nombreuses sources d'eau sont devenues polluées et l'épuisement injuste des ressources en eau est devenu l'un des principaux problèmes auxquels sont confrontés les pays arabes. Voici un aperçu des principales industries dans plusieurs pays arabes :

7.1. Syrie : La Syrie se distingue par sa diversité industrielle, notamment dans les engrais, le ciment, le tannage et la teinture des tissus, les produits pétroliers et gaziers, les produits en coton, la mise en conserve des fruits et légumes, les produits laitiers, le sucre, les moulins à farine, les huileries et l'oléiculture, ainsi que l'industrie pharmaceutique, du verre et des abattoirs.

7.2. Égypte : L'Égypte se distingue par ses industries pétrolières, textiles, alimentaires, sidérurgiques, de l'aluminium, des métaux, chimiques, pharmaceutiques, de la construction, du ciment, des phosphates et des abattoirs.

7.3. Arabie saoudite : L'Arabie saoudite se distingue par ses industries pétrolières, gazières, alimentaires, cimentières et des abattoirs.

7.4. Palestine : Les principales industries en Palestine sont alimentaires, de fabrication de savon et des abattoirs.

7.5. Qatar : Le Qatar se distingue par ses industries pétrolières, gazières, des engrais, de la sidérurgie, du ciment, des détergents, des colorants, du plâtre, des produits cosmétiques, des industries de transformation et des abattoirs.

7.6. Algérie : L'Algérie se distingue par ses industries pétrolières, gazières, sidérurgiques, pétrochimiques, alimentaires, de transformation, extractives et des abattoirs.

Chapitre II :

Les métaux lourds

1. Introduction :

Si les métaux lourds existent naturellement dans la croûte terrestre, leur concentration actuelle dépasse de loin les niveaux historiques. Cette augmentation alarmante est principalement due aux activités humaines, qui ont bouleversé les cycles naturels de ces éléments. L'industrialisation galopante, l'exploitation minière intensive et l'utilisation croissante de combustibles fossiles ont propulsé des quantités considérables de métaux lourds dans l'environnement, contaminant sols, eaux et atmosphère à une échelle sans précédent. [6]

2. Métaux lourds :

On qualifie de métal lourd tout élément métallique dont la densité est égale ou supérieure à 5 grammes par centimètre cube. Cette catégorie inclut notamment le mercure, le chrome, le nickel, le fer, le plomb et le cuivre, entre autres. [5]

Tableau II. 1 : Répartition des métaux lourds dans le tableau périodique.[7]

Bloc s		Métaux lourds de densité >5										Bloc p					
H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg	Bloc d										Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Bloc f														
Lanthanides			Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
Transuraniens			Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Cf	Bk	Es	Fm	Md	No	Lr	

3. Sources des métaux lourds :

Les origines des métaux lourds dans l'environnement peuvent être d'origine naturelle ou humaine.

3.1. Sources naturelles :

1. Altération des roches minéralisées : représenté dans [8] ;

- Processus naturel d'érosion et de dissolution des roches contenant des métaux lourds.
- Libération des métaux dans l'environnement : sols, rivières, eaux souterraines.
- Exemples : mines abandonnées, affleurements rocheux riches en minéraux.

2. Éruptions volcaniques : représenté dans [8] ;

- Projection de cendres et de gaz volcaniques contenant des métaux lourds.
- Contamination de l'atmosphère, des sols et des eaux.
- Impact important sur la qualité de l'environnement et la santé humaine.
- Exemples : éruption du Vésuve en 79 après J.-C., éruption du Krakatoa en 1883.

3.2. Sources humaines :

L'industrialisation et l'urbanisation croissantes à l'échelle mondiale ont conduit à une augmentation significative de la présence des métaux lourds dans l'environnement, provenant des sources anthropiques variées.

1. Activités minières : Extraction et fusion des minerais, produisant des gaz et des poussières nocifs qui affectent la santé et la qualité de l'air.

2. Activités industrielles et agricoles : Couvrent la fabrication et l'agriculture, et émettent des gaz nocifs qui contribuent au changement climatique, à la pollution de l'air et de l'eau.

3. Combustion de mazout : Implique la combustion de combustibles fossiles, produisant des émissions nocives qui constituent une source majeure de pollution de l'air dans les villes.

4. Brûler du charbon dans les centrales électriques : Produit des émissions nocives qui constituent une source majeure de pollution de l'air et du changement climatique.

5. Centrales nucléaires : Produisent de l'énergie par fission nucléaire, avec un risque de fuite de matières radioactives menaçant la santé et l'environnement.

6. Conduites à haute pression : Transportent l'électricité sur de longues distances et produisent des champs électromagnétiques qui peuvent affecter la santé humaine.

7. Microélectronique : Fabrique des composants électroniques et utilise des produits chimiques nocifs qui peuvent polluer l'environnement.

8. Usines de préservation du bois et de transformation : Traitent le bois et produisent des gaz nocifs qui peuvent causer des problèmes de santé.

Tableau II. 2 : Valeurs moyennes des émissions des métaux lourds dans le monde [9]

Métal lourd	Valeurs moyennes des émissions des métaux lourds (t an-1)	
	Sources naturelles	Sources anthropiques
Chrome (Cr)	44000	3077
Cuivre (Cu)	28000	38189
Nickel (Ni)	30000	55642
Plomb (Pb)	12000	331854
Zinc (Zn)	45000	131866
Fer (Fr)	120000	200000

4. Impact des métaux lourds sur la santé humaine et sur l'environnement :

L'ampleur des dangers des métaux lourds sur l'environnement et la santé humaine reste un mystère. Néanmoins, depuis la tragédie de Minamata, il est clair que la méthylation (l'ajout d'un groupe méthyle -CH₃) amplifie considérablement la toxicité de ces éléments.

Au niveau international, il est unanimement reconnu que le cadmium (en fonction des organes affectés), le chrome hexa valent, le nickel et l'arsenic sont des substances cancérigènes avérées ou fortement suspectées.[10]

5. Toxicité des métaux lourds sur la santé humaine et sur l'environnement :

Les métaux lourds sont parmi les polluants environnementaux les plus étudiés. Presque tous les métaux lourds et certains semi-métaux (c'est-à-dire des métalloïdes non métalliques) peuvent être toxiques pour les organismes vivants, selon la dose et la durée.

D'exposition. De nombreux éléments sont classés dans la catégorie des métaux lourds, mais certains sont importants et pertinents dans le contexte environnemental. La liste des minéraux de métaux lourds toxiques liés à l'environnement comprend le chrome, le nickel, le cuivre, le zinc, le cadmium, le plomb, le mercure, le fer et l'arsenic. Le manganèse, le nickel, le cuivre et le cadmium sont les polluants des métaux lourds les plus courants dans l'environnement.[8]

6. Effet des ions ferreux sur la santé humaine et sur l'environnement :

1. Impact sur la santé humaine : il a de nombreux effets dont les plus importants sont [11]

- Toxicité : L'accumulation d'ions ferreux dans l'organisme peut entraîner des lésions organiques, des troubles digestifs, une insuffisance hépatique et rénale, et un affaiblissement du système immunitaire.
- Troubles neurologiques : Une exposition chronique au fer peut causer des maladies neurodégénératives comme la maladie de Parkinson et la maladie d'Alzheimer.
- Troubles respiratoires : L'inhalation d'ions ferreux peut causer une pneumonie et d'autres maladies respiratoires.

2. Impact sur l'environnement : de nombreux effets dont les plus importants sont [11]

- Pollution des sols et des eaux : L'accumulation d'ions ferreux dans les sols et les eaux les rend impropres à l'agriculture et à la consommation.
- Pollution de l'air : L'émission d'ions ferreux dans l'air cause la pollution atmosphérique et augmente le risque de maladies respiratoires.
- Dommages à l'écosystème : L'accumulation d'ions ferreux dans l'environnement affecte l'équilibre écologique et menace la sécurité des organismes vivants.

7. Normes réglementation (normes algériennes) :

L'expansion industrielle, tant dans les pays développés que ceux en voie de développement, a entraîné une prolifération d'unités de production. Ces dernières rejettent souvent des déchets néfastes pour l'environnement, sous forme solide, liquide ou gazeuse. Face à ce constat alarmant, des mouvements écologistes ont vu le jour à la fin du siècle dernier dans tous les pays industrialisés. Leur influence grandissante a contraint les gouvernements à prendre en compte les questions environnementales, ce qui a conduit à la promulgation des lois et des décrets. Parmi les réglementations les plus importantes, on peut citer celles qui concernent les concentrations des métaux lourds dans les effluents industriels.

En Algérie, le décret du 11 juin 2009, publié au Journal officiel de la République algérienne démocratique et populaire n°36, fixe les valeurs limites maximales des paramètres de rejets des installations de déversement industrielles chargées en métaux. Cette réglementation vise à protéger l'environnement et à minimiser les impacts négatifs de l'activité industrielle sur la santé publique.[7]

Tableau II.3 : Normes de rejet d'effluent en Algérie[7]

Elément	Valeurs limites maximales (mg/l)
Aluminium	5
Cadmium	0.1
Chrome trivalent	2
Chrome hexa valent	0.1
Cuivre	1
Cobalt	2
Fer	1
Mercur	0.01
Magnésium	1
Nickel	2
Plomb	0.5
Zinc	2

8. Conclusion :

Ce chapitre tire le rideau sur une tragédie environnementale qui menace notre présent et notre avenir, à savoir la catastrophe de la pollution par les métaux lourds. L'accumulation de ces éléments toxiques dans notre environnement constitue désormais un danger imminent pour la santé humaine, en commençant par les enfants les plus vulnérables, en passant par les adultes, et en atteignant les animaux et les plantes qui constituent des piliers essentiels de la biodiversité. Les risques de la pollution par les métaux lourds ne se limitent pas aux effets sanitaires directs, mais s'étendent également à des conséquences économiques et sociales graves.

En effet, les coûts liés au traitement des maladies causées par l'empoisonnement aux métaux lourds dépassent de loin le prix des mesures préventives. De plus, la pollution de l'environnement entrave le développement économique et réduit l'attractivité des investissements dans les zones touchées. Pour faire face à cette crise, il est nécessaire d'adopter une approche globale qui mobilise les efforts à tous les niveaux.

Il est du devoir des gouvernements de promulguer des lois strictes qui limitent les émissions de métaux lourds et obligent les installations industrielles à respecter des normes environnementales rigoureuses. Les institutions de recherche doivent également intensifier

leurs efforts pour développer des techniques efficaces d'élimination des métaux lourds accumulés dans l'environnement. Au niveau individuel, chaque individu doit prendre conscience de sa responsabilité dans la protection de l'environnement en adoptant des comportements durables qui réduisent la consommation de biens et de produits qui contribuent à la propagation des métaux lourds.

Chapitre III :

Partie expérimentale

1. Introduction :

Les métaux lourds, en particulier le fer, constituent un danger important pour la santé humaine et l'environnement. Bien que certains d'entre eux soient nécessaires en petites quantités, une exposition excessive peut entraîner leur accumulation dans l'organisme, provoquant ainsi une intoxication.

Ce chapitre présente les essais réalisés au sein du laboratoire du Gassi Touil et l'Université KASDI MERBAH OUARGLA, on choisit les coquilles d'œufs comme un bon moyen pour éliminer les métaux lourds (fer).

Les expériences menées ont porte principalement sur :

- Préparation des coquilles d'œufs.
- Prélèvement d'échantillon.
- Détermination de quelques paramètre physique et chimique.
- Effet Masse, température, vitesse du rotation, durée de la rotation sur concentration du fer (les eaux industrielles).
- Analyse LSD.

2. Méthodes et Matériels :

Tableau III.1 : Les Matériaux et Les Equipements et Qualité

Les Matériaux	Les Equipements et Qualité
-Coquilles d'œufs. -Eau distillée. -sachets de la poudre pour réactif Ferro ver 10ml Hach. -Ag NO₃ :0.1N. -K₂CrO₄. -Pastilles de soude caustique. -Inhibiteur de nitrification. -solvant d'extraction (S-316). -Acide chlorhydrique. -Sachets de poudre pour réactif Ferro Ver ,10ml Hach.	-Tamiseur. -Balance. -Vibrateur électromagnétique. -Agitateur magnétique plaque Chauffent (ARE). -Thermomètre à mercure. -Papier filtre. -Bouteille d'heure. -Bêchage 100 ml. -Eprouvette graduée 250 ml. -PH-mètre. -Four de séchage. -Spectrophotomètre UV-visible. DR2800 -Deux cuves carrées en verre 100 ml. -Burette graduée de 25 ml. -Pipette (volume correspondant à la prise d'essai) 10ml. -Paire à pipeter. -Agitateur magnétique. -Barreau aimanté. -Analyseur DBO₅ (Oxi Top). -Flacons à DBO₅ d'une capacité 0.5L. -Éprouvette graduée 500ml. -Entonnoir de filtration. - DMES. -Analyse des hydrocarbures (HC). -Méthode mesure de la salinité.

3. L'usine CPF Gassi Touil :

L'usine CPF (Central Processing Facility) est située dans la région de Gassi TOUIL, qui est une partie de la WILAYA D'OUARGLA. Elle se trouve environ à 1000 km au sud d'Alger et à 150 km au sud de HASSI MASSOUD. On a deux stations : l'ancienne et la nouvelle. L'ancienne station est réservée pour le traitement du brut, elle est composée de deux unités; l'unité de séparation qui consiste à éliminer le gaz, l'eau et les sédiments du pétrole pour le rendre propre et l'autre unité a pour rôle de collecter 4,9 MMSm³/jour de gaz sur des séparateurs existants et de comprimer à une pression de 152 bars ; le gaz associé à l'huile récupéré dans l'unité de séparation est comprimé puis réinjecté dans le gisement pour le maintien de la pression du gisement. L'huile est stockée dans des réservoirs pour expédier à HAOUD LHAMRA. L'autre station est conçue pour traiter 12 millions de mètres cubes de gaz par jour provenant des champs de gaz pour les fournir aux stations de recompressions. Ce gaz à traiter, est provenant des gisements de : Hassi Touarg, Gassi Touil, Roud Elkhalef, Nezla, Toual et Brides. La capacité de fonctionnement de l'usine CPF est comprise entre 30% (3,6 millions de mètres cubes de gaz par jour), et 110% (13,2 millions de mètres cubes de gaz par jour) de sa capacité de base. Aussi, elle permet de produire du GPL (Gaz de Pétrole Liquéfié), et du condensat.

Lorsque le gaz arrive à l'usine, il est divisé en trois pipes par un processus de séparation mécanique basé sur la densité des liquides. Étant donné que la densité de l'eau est plus élevée que celle du gaz, l'eau est séparée du gaz et transportée directement à travers des pipes. Avant d'être déversée dans le bassin d'évaporation, l'eau passe par une unité de séparation physique pour extraire une très faible proportion de métaux lourds. Ensuite, elle est directement dirigée vers le bassin d'évaporation pour le traitement final. [12]

4. Échantillon d'étude :(l'État initial)

Le séparateur d'eau comporte deux ports, une entrée et une sortie. Un échantillon (eau industrielle) a été prélevé à la sortie du séparateur le 18 février 2024 à 9h du matin, avec une température mesurée de 20,7 degrés.



Figure1 : Le séparateur d'eau et la sortie des rejets (eaux industrielles).

5. Caractéristiques de l'échantillon :**Tableau III.2:** caractéristique de l'échantillon.[12]

Test Initial	Unité	RES 11/02/2024
Concentration fer	mg/l	165
PH	/	5.09
Salinité	g/l	19.869
DBO5	mg/l	60
MES	mg/l	7.5
HC	mg/l	24.5
Température	C	20.7

6. Méthode de Travail :**6.1. Préparation de la coquille d'œufs :**

1. Collecté les coquilles d'œufs.

**Figure 2 :** coquilles d'œufs

2. Laver les coquilles avec de l'eau distillée.



Figure 3 : le lavage

3. Sécher les coquilles d'œufs.

4. Broyer les coquilles d'œufs.

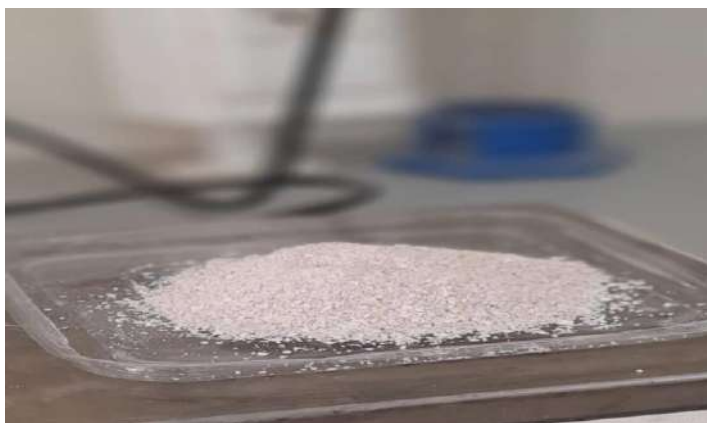


Figure 5 : coquilles d'œufs après le broyage

5. Relaver la poudre des coquilles d'œufs écrasées par l'eau distillée.



Figure 6 : coquilles d'œufs écrasées.

6. Sécher la poudre des coquilles d'œufs par le Four de séchage.



Figure 7 : 110C° Four de séchage

7. Tamiser la poudre des coquilles d'œufs par le tamiseur 0.08mm.



Figure 8 : Le Tamiseur

8. Stocker la poudre des coquilles d'œufs.



Figure 9 : La poudre des coquilles d'œufs

7. Etapes du Traitement :

Etape 1 : Effet de la quantité de poudre des coquilles d'œufs sur la concentration du fer sur l'échantillon :

- La masse de la coquille d'œuf est comprise entre 0,5 g et 2,5 g (5 béchers).
- le volume de l'échantillon est constant 50ml.
- on a la température du laboratoire 27 °C.
- le temp du contact est 30 min.
- la vitesse de rotation 200 rpm.

Etape 2 : Effet de la température sur la concentration du fer sur l'échantillon :

- la masse des coquilles d'œufs est constante dans les cinq 5 béchers (1.5 g).
- le volume de l'échantillon est constant 50 ml.
- chaque fois on monte la température 30°C jusqu'à 110°C.
- le temp du contact est 30min.
- la vitesse de rotation 200rpm.

Etape 3 : Effet la vitesse de rotation sur la concentration du fer sur l'échantillon :

- La masse de la coquille d'œuf reste la même dans les cinq tasses (1,5 g).
- Nous constatons que la taille de l'échantillon est constante 50ml.

- La température de notre laboratoire est la suivante 27°C.
- Après avoir mesuré le temps de communication, on trouve est 30min.
- chaque fois on monte la vitesse de rotation 250rpm jusqu'à 500rpm.

Etape 4 : Effet durée de l'agitation sur la concentration du fer sur l'échantillon :

- À ce stade, nous constatons que la masse de coquille d'œuf est stable dans les cinq 5 béchers (1g).
- A ce stade, le volume de l'échantillon est fixée 50ml.
- on la température du laboratoire 27°C.
- le temp du contact est variable 20min jusqu'à 70 min.
- Vitesse de rotation atteinte 200rpm.

8. Spectrophotomètre :

8.1. Définition :

Un spectrophotomètre est un équipement de laboratoire capable de mesurer le nombre de photons (l'intensité de la lumière) absorbés après avoir traversé la solution de l'échantillon. Il peut également détecter la concentration de la solution en mesurant l'intensité de la lumière détectée. La spectrophotométrie est la méthode utilisée par le spectrophotomètre pour mesurer la quantité de lumière absorbée par une substance chimique lorsqu'un faisceau lumineux la traverse. Le spectrophotomètre se compose généralement de deux appareils différents ; spectromètre et photomètre. Le spectromètre émet une lumière de la longueur d'onde souhaitée et le photomètre détecte la quantité de lumière absorbée par la solution.[14]

8.2. Mode de l'opérateur : [12]

1. Sélectionner le programme d'analyse.
2. Remplir une cuve carrée jusqu'au trait de 10 ml avec l'échantillon (blanc).
3. Essuyer l'extérieur du blanc et l'introduire dans le compartiment de cuve. Couvrir la cuve avec le capot de l'appareil.
4. Faire le zéro (Appuyer sur la touche ZERO) apparaît à l'écran 0,00 mg/L. Retirer le blanc.

5. Transférer 10 ml de l'échantillon dans une autre cuve (cuve d'échantillon).
6. Transférer le contenu d'un sachet de réactif pour fer Ferro Ver dans une cuve d'échantillon. Agiter pour homogénéiser. Une coloration orange apparaîtra en présence de fer.
7. Essuyer l'extérieur de la cuve contenant l'échantillon préparé et l'introduire dans le compartiment de cuve. Couvrir la cuve avec le capot de l'appareil.
8. Laisser l'échantillon préparé, pendant 3 minutes. (Appuyer sur l'icône représentant la minuterie).
9. Mesurer (Appuyer Mesurer) apparaît à l'écran : Les résultats en mg/l.

Chapitre IV :

Résultats et discussions

1. Introduction :

Dans ce chapitre, la partie expérimentale, nous évaluons l'efficacité du traitement des eaux industrielles dans l'usine CPF localisée dans la région Gassi Touil à Hassi Massoud. Les résultats sont obtenus des expériences en laboratoire concernant l'élimination des ions de fer des eaux industrielles, en utilisant de la poudre des coquilles d'œufs. Les analyses chimiques et physiques ont été effectuées en se basant sur quatre variables principales : la masse de la poudre, la température, la vitesse de rotation et la durée de rotation. Ces variables ont été choisies avec soin pour déterminer leur effet sur l'efficacité de l'élimination des ions de fer des eaux industrielles.

2. Effet du traitement :**2.1. L'effet de la masse de matière absorbante :****Tableau (IV-1) : variation de masse[12]**

N°	Masse de poudre(g)	Concentration de fer (mg/l)
1	0.5	51
2	1	51
3	1.5	49
4	2	46
5	2.5	43



Figure (IV-1) : échantillon avec quatre différents types de masse

D'abord, l'étude de l'impact de la quantité du matériau adsorbant a montré, d'après les résultats présentés dans le tableau (1) et la figure (1), que l'augmentation de la quantité du matériau adsorbant conduit à une augmentation du pourcentage d'élimination du fer. Le pourcentage le plus élevé a atteint 73,93 % pour une masse de 2,5 g. Cette augmentation est due à l'augmentation de la surface du matériau adsorbant, ce qui permet une plus grande opportunité de liaison des ions de fer avec les sites actifs de la poudre de coquilles d'œufs, comme le montrent les résultats statistiques avec $p < 0,05$.

2.2. L'effet de la température sur le processus d'adsorption :

Tableau (IV-2) : variation de la température[12]

N°	Température	Concentration de fer (mg/l)
1	30	2
2	50	5
3	70	4
4	90	0
5	110	0



Figure (IV-2) : échantillon après l'augmentation la température

Ensuite, l'étude de l'effet de la température sur le processus d'adsorption à la surface des coquilles d'œufs en poudre avec leurs membranes régulières, en considérant des températures de (30 à 110 °C) pour l'eau industrielle, a été réalisée en utilisant un volume de solution de 50 ml, un temps de contact de 30 minutes, un pH constant, une masse du matériau adsorbant de 1,5 g, une vitesse d'agitation de 200 rpm et une taille de particules de 80 μm (0,08 mm). Les résultats présentés dans le tableau (2) et la figure (2) ont montré que l'augmentation de la température entraîne une augmentation progressive de l'adsorption, atteignant un pourcentage maximal d'élimination des ions de fer à 90 °C, où le taux d'élimination a atteint 100 %. Cela est dû au fait que l'augmentation de la température accroît l'énergie cinétique des molécules de fer, ce qui favorise leur liaison avec les sites actifs présents sur la surface absorbante jusqu'à atteindre un maximum à 90 °C.

2.3. L'effet de la vitesse du mélange sur le processus d'adsorption :

Tableau (IV-3) : variation de la vitesse [12]

N°	Vitesse du mélange(rpm)	Concentration de fer (mg/l)
1	250	18
2	300	19
3	350	19
4	400	21
5	500	39



Figure (IV-3) : échantillon après la procédure d'agitation

Dans cette phase, l'étude de l'effet de la vitesse d'agitation a montré, d'après les résultats présentés dans le tableau (3) et la figure (3), que l'augmentation de la vitesse d'agitation entraîne une diminution du pourcentage d'élimination du fer. Le pourcentage le plus élevé d'élimination, soit 89,09 %, a été observé à une vitesse de 250 rpm. Cela peut être attribué à l'aggrégation des particules du matériau adsorbant due à l'augmentation de la vitesse.

2.4. L'effet du temps de contact sur le processus d'adsorption :

Tableau (IV-4) : variation le temps du contact [12]

N°	Temps (min)	Concentration de fer (mg/l)
1	20	7
2	40	5
3	50	2
4	60	1
5	70	3



Figure (IV-4) : échantillon après l'augmentation le temps du contact

Enfin, lors de l'étude de l'effet du temps de contact sur le processus d'adsorption, il a été observé, d'après le Tableau (4) et la Figure (4), que l'augmentation du pourcentage de l'élimination rapide lors des premières phases de l'adsorption, atteint un maximum de 99,39 % à un temps de contact de 60 minutes, puis diminue par la suite à cause de la présence d'un grand

nombre de sites libres disponibles pour l'adsorption sur la surface du matériau adsorbant avec l'augmentation du temps.

3. Design Différence la moins significative – LDS

LDS c'est une des types de conceptions pour l'analyse des expériences, et est l'abréviation du terme "Test de la Plus Petite Différence Significative" (LSD Test). Lorsque nous comparons la valeur F calculée, qui est de 3,53, avec la valeur F critique, En se référant également aux tables de F avec des degrés de liberté pour le traitement (3) et des degrés de liberté pour l'erreur (16), nous constatons que la valeur critique de F est supérieure à la valeur de F calculée. Par conséquent, l'effet du traitement (Température, la masse, durée de rotation, vitesse de rotation) n'est pas significatif. La valeur de F est testée à un niveau de probabilité de 0,05, soit $p < 0,05$, et est indiquée par * ou au niveau de la probabilité de 0.01, soit $p > 0.01$, et est indiquée par *.

Étant donné que nous comparons les moyennes des deux traitements dans l'expérience avec la LDS, nous constatons que cette dernière est plus grande, cela indique un effet indéterminé.

$$SSe = SST + SSt$$

$$SSt = \sum_r \frac{y_i^2}{r}$$

$$SST = \sum y_{ij}^2 - CF$$

$$CF = \frac{(y_{..})^2}{tr}$$

$$MSe = \frac{SSe}{t(r-1)}$$

$$F = \frac{MSt}{MSe}$$

$$MSt = \frac{SSt}{t-1}$$

3.1. Test Différence Significative :

1- masse de la poudre

2 -Température

3 -vitesses de la rotation

4 -durées de la rotation

Tableau (IV-6) :Test Différence Significative

Traitement	Concentration (fer) Yij	Total	Moyenne
1	51-51-49- 46-43	240	48
2	2-5-4-0- 0	11	2.2
3	18-19-19- 21-39	116	23.2
4	7-5-2-1-3	18	3.6
		385	

$$LDS = \frac{2MSe}{r} \times t$$

Tableau (IV-6) : La controverse comme source de divergence sémantique

S-U-V Les sources de déférence	D .f Dégré de libération	S-S Total du	M-S Moyenne du	F- Value
Traitement	3	14300.2	4766.733	3.53
Expérimental erreur	16	21597.94	1349.87	
Total	19	7297.74	/	

$$MSe = \frac{SSe}{t(r-1)}$$

$$t=4$$

$$r=5$$

Conclusion générale

Conclusion générale

La suppression des ions de fer des eaux industrielles en utilisant de la poudre de coquilles d'œufs est une technique innovante et écologique. Cette méthode permet de valoriser les déchets organiques en tant que matériau efficace pour absorber les polluants métalliques, réduisant ainsi l'impact environnemental des déchets et favorisant la durabilité du traitement des eaux. Les eaux industrielles posent un problème environnemental majeur en raison de leur teneur en métaux lourds tels que le fer, qui peuvent causer des dommages sanitaires et environnementaux considérables. Des études ont montré que la poudre de coquilles d'œufs est très efficace pour éliminer les ions de fer grâce à sa composition chimique riche en calcium, qui offre des sites réactifs pour l'adsorption des métaux.

Les résultats ont également montré que la température joue un rôle crucial dans l'amélioration de l'efficacité de l'élimination des ions, avec une suppression de 100 % des ions de fer à une température de 90 °C. De plus, cette méthode est économique et simple à appliquer, ce qui en fait une option prometteuse pour les usines souhaitant réduire les coûts de traitement des eaux et améliorer la qualité de leurs rejets environnementaux.

En conclusion, l'utilisation de la poudre de coquilles d'œufs représente une étape importante vers un traitement des eaux plus vert et durable. Nous recommandons davantage de recherches pour déterminer les conditions optimales d'utilisation de cette technique pour un éventail plus large de métaux lourds et de polluants. Il est également recommandé de mener des essais sur le terrain pour évaluer l'efficacité de cette solution dans des environnements industriels réels et identifier les facteurs pouvant affecter ses performances.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] NouraChaouche "Utilisation des sous- produits du palmier dattier dans le traitement physique – chimique des eaux polluées". Thèse, doctorat, chimie, U.Hadj Lakhrar Batna 2014 2 - 1 p.
- [2] Al-Turkmani Abdul Razzaq 2009, Le plan national pour la gestion des eaux usées en Syrie (pôles régionaux et usines de traitement).
- [3] Agence japonaise JICA, 2008, Étude sur le développement du système d'assainissement en République arabe syrienne.
- [4] Abdullah Saghir, Traitement des eaux usées industrielles dans le monde arabe, Arab House of Science Publishers, 2017, Liban.
- [5] Jost JP, Jost-Tse YC. Les plantes hyper accumulatrices de métaux lourds: une solution à la pollution des sols et de l'eau ? Saint-Denis: Connaissances et savoirs; 2018.
- [6] Eckenfelder WW. Gestion des eaux usées urbaines et industrielles: caractérisation: techniques d'épuration: aspects économiques. Paris : Technique et Documentation Lavoisier; 1982.
- [7] I. Touil, S. Drise, R. Korichi, Etude comparative de la capacité d'adsorption de charbon magnétique et de charbon actif pour la rétention des métaux lourds. Mémoire de Master, Université kasdi merbah ouargla, 2022.
- [8] سعد هلالا نجم النعيمي, تلوث بيئة الإنسان بالمعادن الثقيلة و طرق المعالجة, دار الكتب العلمية 2020
- [9] O. Khelifi, Etude de l'adsorption du nickel et du cuivre sur un charbon Actif préparé à partir des boues de station d'épuration, Thèse de Doctorat, Université 8 Mai 1945 Guelma, 2017.
- [10] F. Dennez, Les nouvelles pollutions invisibles : Ces poisons qui nous entourent Delachaux et Niestlé, 2011.
- [11] S. Aziri, Etude de l'adsorption du nickel par des biosorbants, Mémoire de Magister en Chimie, Université mouloud mammeri de tizi-ouzou, 2012.
- [12] politique exploitation à SONATRACH. Service exploitation direction AUI Division Génie des procédé l'environnement -OUARGLA.
- [13]" Laboratoire de Gassi – TOUIL Manuel Opérateur GQSSI – 15 – 28.rar"
- [14] Ashma shrestha, Définition spectrophotomètre et exploitation 2024.