

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة امحمد بوقرة بومرداس
Université M'hamed Bougara Boumerdès



Faculté des Sciences
Département de Biologie

Mémoire de projet de fin d'études en vue de l'obtention du Diplôme de
MASTER en biologie

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : Sciences biologiques
Spécialité : Biochimie appliquée

Thème

**Étude de l'élimination de deux métaux (Fer et zinc) d'une eaux usée
industrielle réelle par neutralisation-floculation**

Présenté par :
Mzir Anis
Goutal Nabil

Le jury :

Mr BELLOUT Y.	MCB	UMBB	Président
Mr HARITI M.	MAA	UMBB	Examinateur
Mr HALET F.	MCB	UMBB	Promoteur
Mr YEDDOU A. R.	Professeur	ENS Kouba	Co-promoteur

Années universitaire 2020-2021

Dédicaces

Je dédie ce travail à tous les membres de l'honorable famille, en particulier mon père, ma mère et mes frères. Qui ont partagé avec moi tous les moments émouvants pour l'accomplissement de cet humble travail. Ils m'ont vraiment soutenu et encouragé si chaleureusement tout au long de mon parcours; je leur en suis très reconnaissant.

Goutal Nabil

A mes chers parents, source de vie, d'amour et d'affection.

A mes chers frères, source de joie et de bonheur.

A toute ma famille, source d'espoir et de motivation, tout particulièrement mes tantes Fariza et Rachida.

A tous mes amis et mes collègues.

A vous cher lecteur.

Mzir Anis

Remerciements

*Nous remercions en premier dieu **ALLAH** le tout puissant de nous avoir illuminés
et ouvert les portes du savoir,
et de nous avoir donné la volonté et le courage, la puissance et la patience pour accomplir ce
modeste travail.*

*Nos profonds remerciements s'adressent en premier lieu à notre promoteur
M^r Halet Farid enseignant chercheur à l'UMBB et à **Mr Yeddou Ahmed Reda** Professeur à
l'ENS de Kouba
pour avoir accepté de nous encadrer avec bienveillance,
pour leur aide, leur précieux conseils, leur confiance, leur patience, leur encouragements
pendant les moments les plus difficiles.*

Vraiment merci pour une qualité d'encadrement si sérieuse et si consistante.

*Nous adressons également nos vifs remerciements à **M Bellout Yacine**
Enseignant chercheur à l'UMBB
qui nous a fait l'honneur en acceptant de présider le jury de mémoire.*

*Nous exprimons nos vifs remerciements à **M Hariti Mohamed**
Enseignant chercheur à l'UMBB
pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant de faire partie de ce jury et
d'examiner ce mémoire.*

*Nous témoignons notre gratitude également à **Mr Nadjemi Boubekour**
Responsable De Laboratoire D'Étude Et De Développement Des Techniques De Traitement
Et d'Épuration Des Eaux Et De Gestion Environnementale ("LEDTEGE")
Pour avoir accepté de nous recevoir au sein du laboratoire*

*Nous témoignons notre reconnaissance également tout le personnel du laboratoire
(LEDTEGE)*

*Nos sincères remerciements et gratitude s'adressent à l'ensemble des enseignants du
Département de Biologie et spécialement de notre spécialité
Biochimie appliquée.*

A tous nos ami(e)s.

*A tous les étudiant(e)s de Master II Biochimie appliquée.
de la promotion 2019/2020.*

*A toute personne qui a participé de près ou de loin, directement ou indirectement dans la
préparation de ce modeste travail.*

ملخص

تتطلب صناعة المعادن التخلص من كميات كبيرة من مياه الصرف الصحي التي تحتوي على العديد من العناصر الملوثة. يجب تنظيف هذه الترسبات قبل صبها في قنوات الصرف الصحي. نحن نأخذ كميات من هذه الترسبات الصناعية (اليومية و الشهرية) و نقوم بإحداث التبادل الكيميائي عليها بطريقة اختبار الجار من أجل تحقيق الترسيب و فصل المادة الطافية عن الوحل الذي يحتوي على المعادن الثقيلة. سنقوم بعد ذلك بإجراء اختبارات و قياسات فيزيوكيميائية (الحموضة, التعكر, مقدار الجفاف) والتي ستسمح لنا بتقييم درجة تلوث هذه المياه. سيسمح لنا هذا بتقدير مستوى خطورة هذه النفايات وفعالية التبادل بواسطة هيدروكسيد الصوديوم ، بالإضافة إلى الاستراتيجيات المتصورة للتخلص من الوحل سيعطينا هذا لمحة عامة عن مستوى خطر النفايات الناتجة عن معالجة الأسطح بالإضافة إلى حجم الموارد و المواد اللازمة لتحقيق تنقية جيدة.

الكلمات المفتاحية: مياه الصرف الصحي ، النفايات السائلة ، الصرف ، معالجة الأسطح ، المعادن الثقيلة ، معالجة المياه ، التنقية ، التبادل الكيميائي، الترسيب ، التلوث ، الصناعة المعدنية.

Résumé

L'industrie de transformation métallique nécessite l'évacuation de grandes quantités d'eaux usées qui contiennent plusieurs éléments polluants. Ces rejets doivent être nettoyés avant leur dispense dans les réseaux d'assainissement. Nous prélevons des quantités de ces rejets industriels (journaliers et mensuels) sur lesquelles nous effectuons une neutralisation par la méthode de Jar test, le but étant de réaliser une précipitation et séparer le surnageant et la boue contenant les métaux lourds. Nous effectuerons ensuite des tests physico-chimiques et des mesures (pH, turbidité, siccité) qui nous permettront d'évaluer le degré de pollution de ces eaux, l'efficacité de la neutralisation par NaOH, ainsi que les stratégies envisageables pour éliminer les boues. Ceci nous donnera un aperçu sur le niveau de danger des effluents du traitement de surface ainsi que le volume des ressources et matériels nécessaires pour réaliser une bonne épuration.

Mots clés: traitement de surface, métaux lourds, traitement des eaux, épuration, neutralisation, précipitation, pollution, industrie métallurgique.

Abstract

The metalworking industry requires the disposal of large quantities of wastewater which contain several polluting elements. These discharges must be cleaned before they are dispensed into the sewerage networks. We take quantities of these industrial discharges (daily and monthly ones) on which we will realize neutralization by the Jar test method in order to achieve a precipitation and separate the supernatant and the sludge containing the heavy metals. We will then carry out physicochemical tests and measurements (pH, turbidity, dryness) that will allow us to assess the degree of pollution of these waters, the effectiveness of neutralization by NaOH, as well as the envisionable strategies to eliminate the sludge. This will give us an prospect of the level of danger of surface treatment effluents as well as the volume of resources and materials necessary to achieve good wastewater purification.

Keywords: Wastewater, effluents, discharges, surface treatment, heavy metals, water treatment, purification, neutralization, precipitation, pollution, metallurgical industry.

Sommaire

Introduction	4
Chapitre I : Synthèse bibliographique	5
I.1. L'eau usée industrielle	5
I.1.1. Les Eaux usées	5
I.1.2. Caractéristique physico-chimique des eaux usées	5
I.1.3. Impact des eaux usées sur l'environnement	8
I.2. : les rejets des eaux métalliques	10
I.2.1. Les différents types d'industries métalliques	10
I.2.2. Les caractéristiques physico-chimiques des rejets	11
I.2.3. Quelques industries de traitement de surface en Algérie	12
I.3. : le traitement des rejets	13
I.3.1. La précipitation / Neutralisation	13
I.3.2. Coagulation-floculation	13
I.3.3. Décantation	15
I.3.4. Filtration	16
I.4. : La législation Algérienne sur les rejets industriels	21
I.4.1. Les rejets industriels en Algérie	21
I.4.2. L'industrie de transformation métallique	22
I.4.3. L'importance du pH et la formation des hydroxydes métalliques	24
I.4.4. Les traitements des rejets des industries métalliques	25
Chapitre II : Matériels et méthodes	27
II.1. Matériels	27
II.2. Préparation des solutions	27
II.3. Mode opérationnel	29
Chapitre III : Résultats et discussion	32
III.1. Rejet journalier (rejet diluées) A C E	32
III.2. Rejets mensuelle (concentrer) B et D	33
Conclusion	34
Références bibliographiques	35

Liste des tableaux

Tableau 1 Les différentes odeurs désagréables créées par les eaux usées	6
Tableau 2 Effets des composants des eaux usées sur l'environnement (Libes, 2010)	9
Tableau 3 Les produits chimiques présents dans les rejets des industries métalliques (Biswas, 2013).	11
Tableau 4 Résultats d'une étude physico-chimique sur les rejets industriel de Mostaganem (Remili & Kerfouf, 2013)	11
Tableau 5 Quelques industries de traitement de surfaces en Algérie.....	12
Tableau 6 Résultats des tests appliquées sur les solutions A C E.....	32
Tableau 7 Résultats des tests appliquées sur les solutions B et D	33

Liste de figures

Figure 1 Coagulation puis floculation en traitement des eaux industrielles au niveau du laboratoire. ..	14
Figure 2 Structure générale d'une chaine de traitement de surfaces.	28
Figure 3 Les différents types d'affluents à traiter au niveau du laboratoire.	29
Figure 4 Evolution de la turbidité et des matières en suspension en fonction du pH.	32

Liste des abréviations

MES : Matières en suspension

DBO : Demande biochimique en oxygène

DCO : Demande chimique en Oxygène

COT : Carbone Organique total

HAP : hydrocarbures aromatiques polycycliques

ISO: International Organization for Standardization

SAAC : Société Algérienne d'Accumulateurs

Introduction

L'eau est une condition nécessaire pour la survie de l'humanité, le maintien de sa santé et l'assurance de son bien-être. L'eau est aussi au cœur du développement durable et est essentielle au développement socio-économique, à la production énergétique et alimentaire et à l'intégrité des écosystèmes. L'accès durable aux ressources en eau est la principale préoccupation qui concerne tous les pays Bassin méditerranéen notamment l'Algérie, où des facteurs comme le changement climatique, la croissance urbaine et démographique engendre un état de stress hydrique. L'Algérie est l'un des plus grands pays d'Afrique avec une superficie de 2 381 741 Kilomètres carrés) et est considérée comme pays semi-aride.

Du côté de l'industrie, l'Algérie doit développer ses productions pour soutenir son économie de manière durable et apporter un bien être à sa population. Cependant, toute branche de l'industrie demande une utilisation importante et permanente en eau, une ressource qui est de moins en moins disponible pour diverses raisons. Cela implique forcément que des processus de récupération et de sauvegarde d'eau en usine doivent être pensés et mis en place.

Cependant, cela pose un grand problème de gestion. Bien que l'existence d'une station d'épuration dans toute branche d'industrie semble nécessaire et obligatoire, il faut aussi prendre en considération le cout et les ressources nécessaires pour sa mise en place. Il s'agit donc de trouver un investissement optimal qui permet d'établir une station de traitement sans nuire au bon fonctionnement de l'industrie même.

Notre objectif est donc de mettre en place un système de traitement conventionnel qui permet dans le futur de faire une évaluation technico-économique d'une station d'épuration. Pour cela nous prélevons des échantillons réels sur lesquelles nous appliquerons une multitude de tests au laboratoire, cela permettra d'enregistrer des données importantes qui nous permettrons de déterminer le degré de pollution de ces eaux avant et après traitement.

Ce mémoire se divise en trois chapitres majeurs ; la synthèse bibliographique est répartie en 4 sections ; dans la première nous abordons les eaux usées et leurs caractéristiques ; dans la deuxième nous nous concentrons sur les rejets des industries métalliques ; La troisième section explique les différentes méthodes utilisées pour traiter ces rejets et finalement la quatrième section viens apporter des détails sur comment le gouvernement Algérien régie le traitement de ces rejets. La deuxième partie englobe les matériels et méthodes utilisés pour approcher notre problématique. La troisième et dernière partie décrit les différents résultats obtenus et qui seront analysés et discutés pour enfin tirer une conclusion générale.

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I.1. L'eau usée industrielle

I.1.1. Les Eaux usées

Les eaux usées sont des eaux chargées de polluants, solubles ou non, provenant de l'activité humaine (Rejsek, 2002). Une eau usée est généralement un mélange de matières polluantes répondant à ces catégories, dispersées ou dissoutes dans l'eau qui a servi aux besoins domestiques ou industriels. (Grosclaude, 1999). Donc sous la terminologie d'eau résiduaire, on groupe des eaux d'origines très diverses qui ont perdu leurs puretés ; c'est-à-dire leurs propriétés naturelles par l'effet des polluants après avoir été utilisées dans des activités humaines (domestiques, industrielles ou agricoles) (Bengouga, 2010).

I.1.2. Caractéristique physico-chimique des eaux usées

La caractérisation physique et chimique présentée ci-dessous est valable pour la plupart des eaux usées, tant municipales qu'industrielles.

I.1.2.1. Caractéristiques physiques

Les principales caractéristiques physiques des eaux usées sont le contenu en solides totaux, la couleur, l'odeur et la température 0.

- **Les Solides totaux**

Les solides totaux dans les eaux usées sont constitués des matières insolubles ou des solides en suspension et les composés solubles dissous dans l'eau. La teneur en solides suspendus est obtenue en séchant et en pesant le résidu éliminé par le filtrage de l'échantillon. Lorsque ce résidu est enflammé, les solides volatils sont brûlés. Ces derniers sont présumés être de la matière organique, bien que certaines matières organiques ne brûlent pas et certains sels inorganiques se dégradent à haute température. La matière organique se compose principalement de protéines, glucides et lipides. Entre 40 et 65 % des solides dans les eaux usées sont suspendues.

Les solides décantables, exprimés en millilitres par litre, sont ceux qui peuvent être éliminés par sédimentation. Habituellement, environ 60 % des solides en suspension dans les eaux usées municipales sont décantables 0.

Les solides peuvent également être classés d'une autre manière : ceux qui se volatilisent à haute température (600 °C) et ceux qui ne le font pas. Les premiers sont appelés solides volatils, et les seconds sont des solides fixes. Généralement, les solides volatils sont organiques.

- **Couleur**

La couleur est une caractéristique qualitative qui peut être utilisée pour évaluer l'état de ces eaux. Une couleur brune claire indique que l'eau usée s'est formée depuis moins de 6 h, tandis qu'une couleur grise claire est caractéristique d'eaux qui ont subi un certain degré de décomposition ou qui sont dans le système de collecte depuis un certain temps. Finalement, si la couleur est grise foncée ou noire, cela veut dire que les eaux sont typiquement septiques, ayant subi une décomposition bactérienne importante dans des conditions anaérobies.

Le noircissement des eaux usées est souvent dû à la formation de divers sulfures, en particulier le sulfure ferreux. Cela se produit lorsque le sulfure d'hydrogène (produit dans des conditions anaérobies) se combine avec un métal divalent tel que le fer 0.

- **Odeur**

L'odeur des eaux usées fraîches n'est généralement pas beaucoup désagréable, mais une variété de composés odorants est libérée lorsque ces eaux se font décomposées biologiquement dans des conditions anaérobies 0. Les différentes odeurs désagréables produites par certaines eaux usées industrielles sont présentées dans le **Error! Reference source not found.**

Tableau 1 Les différentes odeurs désagréables créées par les eaux usées

Industries	Origines des odeurs
Travaux à ciment, four à chauds	Acrolein, amines, mercaptans, sulfur dibutyl, H ₂ S, SO ₂ , etc.
Industries pharmaceutiques	Fermentations
Industries alimentaire	Fermentation
Industries alimentaires (marines)	Amines, sulfures, mercaptans
Industries de caoutchouc	Sulfures, mercaptans
Industries textiles	Composés phénoliques
Industrie de pâte à papier	H ₂ S, SO ₂
Composts organiques	Ammoniac, composés soufrés

- **Température**

La température des eaux usées est généralement plus élevée que celle de l'eau d'approvisionnement parce que l'eau municipale chaude a été ajoutée. L'importance de la mesure de température résulte du fait que la plupart des systèmes de traitement des eaux usées incluent des processus biologiques qui dépendent de la température. La température varie avec position géographique et change d'une saison à l'autre.

I.1.2.2. Caractéristiques chimiques

- **Le pH**

Le pH des eaux usées joue un rôle important dans l'équilibre chimique du soufre avec l'hydrogène. Lorsque le pH est égal ou supérieur à 8, la majorité du soufre se présente en solution sous forme de HS^- et S^{2-} . Par contre, aux pH inférieurs à 8, l'équilibre se déplace, et il y a formation de H_2S dans une proportion d'environ 70% à pH 7, ce qui favorise le dégagement d'odeurs désagréables et de gaz nocifs pour la santé humaine. C'est pourquoi il est parfois désirable de ne pas neutraliser les effluents basiques de certaines industries, dont notamment les laiteries, puisqu'ils préviennent les émanations de H_2S .

De la même manière, le pH contrôle en partie la solubilité des hydroxydes métalliques présents dans les eaux usées. Ainsi par exemple, en amenant le pH à 8, il y a précipitation du Fe^{3+} et de l' Al^{3+} et de Ca^{2+} . Par contre, lorsqu'il y a acidification des eaux, une partie de ces métaux est re-dissoute, ce qui augmente d'autant leurs propriétés toxiques.

- **La Conductivité**

C'est l'aptitude d'une eau à laisser passer un courant électrique. Elle résulte de la mobilité des ions présents dans le milieu et dépend de leurs concentrations ainsi que leurs conductivités intrinsèques. La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 (Bengouga, 2010).

- **Les oligo-éléments**

Les oligo-éléments, composés de certains métaux lourds, ne sont pas déterminés systématiquement, mais peuvent être un facteur dans le traitement biologique des eaux usées. Tous les organismes vivants ont besoin de quantités variables de certains oligo-éléments, tels que le fer, le cuivre, le zinc et le cobalt, pour une bonne croissance. Les métaux lourds peuvent également produire des effets toxiques ; par conséquent, la détermination des quantités de métaux lourds est très importante lorsque l'utilisation ultérieure des effluents ou des boues

traités doit être évaluée. De nombreux métaux sont également classés comme polluants prioritaires tels que l'arsenic, le cadmium, le chrome, mercure, etc (Alturkmani, 2013).

- **La Demande Chimique en Oxygène (DCO)**

La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène consommée par les matières existantes dans l'eau et oxydables dans des conditions opératoires définies. La mesure correspond à une estimation des matières oxydables présentes dans l'eau quelque soit leur origines organique ou minérale, elle est exprimée en exprimée en mg.L^{-1} (Bengouga, 2010).

- **La Demande Biochimique en Oxygène (DBO)**

Selon REJSEK (2002), la demande biochimique en oxygène (DBO) d'un échantillon est la quantité d'oxygène consommé par les microorganismes aérobies présents dans cet échantillon pour l'oxydation biochimique des composés organiques et/ou inorganiques.

- **Espèces chimiques (Organiques/inorganiques)**

Les eaux usées sont caractérisées par la présence de différents composées chimique :

- **Azote** : Peut être de nature organique ou minéral. L'azote organique est constitué de protéines, polypeptides, des acides aminés, de l'urée. En revanche, l'azote minéral (ammoniaque, nitrate, nitrite) constitue la majeure partie de l'azote total. (RODIER, 2005).
- **Le Phosphore** : Il peut exister en solution ou en suspension, à l'état minéral ou organique.
- **Le Sulfate** Leur présence dans l'eau est généralement due à des rejets en provenance d'ateliers de blanchiment (laine, soie, etc.), d'usines de fabrication de cellulose (pâte à papier, etc.) et d'unités de déchloration. En cas de rejet dans l'environnement, les sulfites se combinent à l'oxygène en donnant des sulfates. (RODIER, 2005).

I.1.3. Impact des eaux usées sur l'environnement

La pollution est une dégradation de l'environnement par l'introduction dans l'air, l'eau ou le sol de matières n'étant pas présentes naturellement dans le milieu. Elle entraîne une perturbation de l'écosystème dont les conséquences peuvent aller jusqu'à la migration ou l'extinction de certaines espèces. Les eaux usées et les déchets peuvent perturber le cycle de l'azote dans le sol et provoquent la montée de sel dans les sols. C'est comme cela que les sols sont stérilisés (« La pollution industrielle, impacts sur l'Homme et l'environnement », 2018).

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Le Tableau 2 regroupe les différents effets des substances présentes dans les eaux usées sur l'environnement 0

Tableau 2 Effets des composants des eaux usées sur l'environnement 0.

Substances	Origines	Effets
Hydrocarbures, essences, huiles, fioul	Transports routiers, industries, accidents pétroliers, fuites lors des déchargements des pétroliers, lessivage par la pluie des zones urbaines (parking, routes)	Altération des mécanismes physiologiques de tous les organismes vivants
Métaux lourds	Transports routiers, industries métallurgiques et pétrochimiques, peintures et carénage des bateaux	Affectent surtout les animaux, Ralentissement de la croissance, Altération des organes, Classement par ordre de nocivité croissante : Hg>Ag>Cu>Cd>Zn>Pb>Cr>Ni>Co
Pesticides et Insecticides	Utilisation domestique, agriculture	Trouble du métabolisme et du système neurologique, Altération des processus enzymatiques
Composés azotés et phosphatés	Agriculture, aquaculture, industries agroalimentaires, eaux usées domestiques	Phénomène d'anoxie et d'eutrophisation
Détergents	Eaux usées domestiques industries	Affectent les plantes et les algues, Effet amplifié si combinaison avec des hydrocarbures
Matières en suspension MES	Eaux usées domestiques, lessivages des sols, industries	Diminution apport de lumière

I.2. : les rejets des eaux métalliques

I.2.1. Les différents types d'industries métalliques

L'industrie de la métallurgie s'est organisée en trois spécialités principales

I.2.1.1. La production d'acier et des alliages ferreux

Il s'agit de la sidérurgie qui désigne la production de la fonte, du fer et de l'acier, trois produits issus de l'alliage entre le fer et le carbone. Le métallurgiste parle de fonte lorsque la teneur de carbone dans le fer est située entre 2,25% et 6,64 %. Il parle d'acier lorsque cette même teneur est située entre 0,01 et 2,25%. Concernant le fer, il peut être sans alliage, mais le fer dit industriel comporte une faible teneur en carbone, inférieure à 0,01%. Parmi ces trois produits sidérurgiques, l'acier est le produit phare, très utilisé dans la construction navale, l'automobile ainsi que dans bien d'autres domaines ("Métallurgie", 2018).

I.2.1.2. La production des métaux non ferreux

Il s'agit du cuivre, du plomb, du laiton, du zinc, de l'aluminium et de l'étain. Ces produits sont à plus grande valeur ajoutée que les aciers et sont généralement valorisés plus cher. Ils permettent la production de produits dérivés très recherchés comme les câbles électriques en cuivre par exemple ("Métallurgie", 2018).

I.2.1.3. La production des métaux précieux

Les métaux considérés comme précieux sont généralement rares et à avec une valeur économique élevée. Il s'agit de l'or, du platine, du rhodium et du palladium. Le titane, quant à lui, est considéré comme un métal semi-précieux. La production de ces métaux est issue de leur extraction mais également du recyclage compte tenu de leur rareté. Cette filière de recyclage couvre environ 20% de la production et se concentre sur les secteurs des déchets électroniques, industriels et dentaires, les matériaux de contact, les catalyseurs et piles à combustibles. Au-delà de leur utilisation commune en bijouterie et argenterie, ces métaux sont très utilisés dans le secteur de l'électronique, notamment en raison de leurs propriétés conductrices. La médecine commence également à étudier des utilisations de ces métaux ("Métallurgie", 2018).

I.2.2. Les caractéristiques physico-chimiques des rejets

Les eaux usées résultant d'industries métallurgiques sont essentiellement composées de métaux lourds, mais aussi une grande variété d'éléments polluants. Le Tableau 3 regroupe les composants chimiques présents dans ces rejets.

Tableau 3 Les produits chimiques présents dans les rejets des industries métalliques (Biswas, 2013).

Composant	Remarque
Métaux lourds	70 éléments de trace non offensifs (comme le Zinc et le Fer), mais 12 métaux lourds toxiques (plomb, mercure, cadmium, nickel)
Composés aromatiques	Leur toxicité augmente avec leur masse moléculaire. Ceci est directement lié à leur capacité de se bio accumuler.
Tensioactifs (agents de surface)	Augmente la solubilité apparente des HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques) et autres composés hydrophobes par formation micellaire.
Cyanides	Facilement diffusible à travers l'épithélium, les voies de l'excrétion de cyanure sont soit la formation de SCN (majeure) ou la formation de CNO (mineure)
Fluorides	Sont facilement absorbés, concentrés où le calcium est présent en grandes quantités

En ce qui suit un récapitulatif de résultats relatifs à une analyse physicochimique d'eaux usées du littoral oranais (sites de rejets urbains et industriels de deux grands pôles urbains de la côte ouest algérienne : Oran et Mostaganem) à titre de référence. Plusieurs unités industrielles sont implantées dans la ville de Mostaganem. On peut citer, entre autres la Société Algérienne d'Accumulateurs (SAAC), qui fabrique des accumulateurs au plomb, située dans la partie sud-est de la ville.

Le Tableau 4 contient les résultats concernant les Rejets industriels de la ville de Mostaganem 0

Tableau 4 Résultats d'une étude physico-chimique sur les rejets industriels de Mostaganem 0

	Temp (°C)	pH	Salinité (mg/l)	O ₂ (mg/l)	MES (mg/l)	DBO (mgO ₂ /l)	Cd (mg/l)	Pb (mg/l)	Zn (mg/l)
Rejets Industriels Mostaganem	17.5 (±5.0)	9.12 (±1.95)	23.5 (±3.0)	2.28 (±0.85)	29.2 (±3.1)	57.3 (±21.4)	0.88 (±1.35)	0.19 (±0.20)	0.25 (±0.23)
Limites normatives	30	6.5 – 8.5	-	-	35	35	0.20	0.50	3.0

MES (Matières en suspension) : Les matières en suspension (ou MES) (ou particules en suspension) désignent les matières solides insolubles visibles à l'œil nu présentes en suspension dans un liquide.

I.2.3. Quelques industries de traitement de surface en Algérie

Le Tableau 5 regroupe certaines industries de traitement de surface en Algérie. Les informations sont extraites du web et des sites officiels des usines.

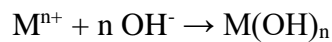
Tableau 5 Quelques industries de traitement de surfaces en Algérie.

Nom de l'usine	Localisation	Activités
Groupe Gazelle (groupe-gazelle.com)	Khemis El Khechna	Métallisation des surfaces métallique (galvanisation des métaux)
Cherabi et CIE (www.grillagedz.com)	Bordj Bou Arreridj	Production de tous genres de grillages
Benkhalifa et fils (benkhalifa-dz.com)	Dar El Beïda	Grilles, grillages et clôtures en métal
Delka cable-cabelko (https://sarl-akelec-energie-usine-de-fabrication-de-cable.business.site/)	Beni Tamou, Alger	Fabrication des câbles électrique

I.3. : le traitement des rejets

I.3.1. La précipitation / Neutralisation

Elle signifie la neutralisation de l'acidité libre d'un effluent et la précipitation d'hydroxydes métalliques peu solubles selon la réaction :



Les cations métalliques concernés par ce type de traitement sont Ag^{+} , Al^{3+} , Ba^{2+} , Cd^{2+} , Cr^{3+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} , Hg^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} , Sn^{2+} , Zn^{2+} , etc. ... (Dupont, 1987)

L'équilibre solide-solution obtenu dans la réaction se traduit par le produit de solubilité K_s d'un hydroxyde métallique, il est représenté par la relation suivante :

$$[M^{n+}] [OH^{-}]^n = K_s = 10^{-pK_s}$$

Le caractère amphotère de certains hydroxydes peut nécessiter plusieurs étapes de traitement à des pH différents de manière à éliminer la totalité des métaux en solution. A cela s'ajoute la présence -dans les effluents industriels- d'agents complexant tels que les cyanures, l'EDTA, l'ammoniaque (en particulier dans les bains usagés de traitement de surface). Ces complexant déplacent les équilibres de solubilité et augmentent ainsi la concentration résiduelle en métal soluble.

Les agents de précipitation les plus couramment utilisés sont la chaux $Ca(OH)_2$ et la soude $NaOH$, la chaux étant le réactif le moins coûteux (Pénéliou, 2003).

I.3.2. Coagulation-floculation

Le mot coagulation vient du latin coagulare qui signifie « agglomérer » (Masschelein, 1999). Le procédé de coagulation-floculation est un traitement primaire qui permet de débarrasser les eaux usées des impuretés qu'elles contiennent grâce à la réaction d'émulsion (Berrefai, 2012).

La coagulation a donc pour but principal de déstabiliser les fines particules en suspension pour ainsi faciliter leur agglomération (Desjardins, 1997). Généralement caractérisé par l'injection et la dispersion rapide de produits chimiques, ce procédé permet d'augmenter substantiellement l'efficacité des traitements secondaires (Desjardins, 1997). La floculation a pour but de favoriser, à l'aide d'un mélange lent, les contacts entre les particules déstabilisées. Ces particules s'agglutinent pour former un floc qu'on pourra facilement éliminer par les procédés de décantation et de filtration.

La coagulation demeure l'étape préparatoire la plus importante pour la floculation. Cette dernière peut être provoquée par trois mécanismes (Fiessinger, 1979)

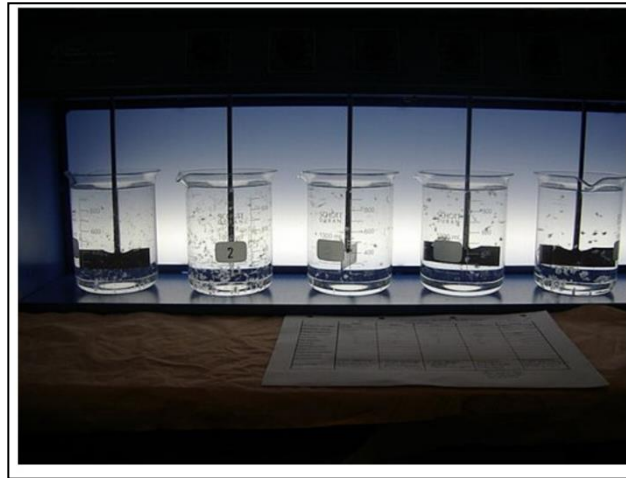


Figure 1 Coagulation puis floculation en traitement des eaux industrielles au niveau du laboratoire.

Le jar test

Cette expérience est très importante et sur la base de celle-ci nous déterminons la dose d'alun nécessaire à la sédimentation des substances en suspension dans les eaux de surface telles que les rivières, etc.... où elles sont traitées, épurées et réduites à moins d'une unité de turbidité (NTU).

Le travail dans toute usine d'eau potable doit déterminer avec précision la dose d'alun et les conditions appropriées sans gaspiller de produits chimiques, et par conséquent, les esprits ont été attirés par la nécessité de simuler les conditions de fonctionnement pour réduire les produits chimiques gaspillés dans le processus expérimental. Avant de commencer l'expérience, nous enregistrons le PH, l'alcalinité et la turbidité de l'eau

La station est simulée à travers plusieurs variables

- Alun
- Temps de sédimentation
- Agitation et floculation rapides.

La détermination de ces grandeurs en laboratoire est réalisée par ce qu'on appelle le jar test. Il consiste en une rangée de béchers alignés sous un appareillage permettant de tous les agiter à la même vitesse. Les différents béchers ont reçu une dose différente de réactifs et à la fin de l'expérimentation, on détermine quels sont les couples quantités de réactifs / vitesse et temps d'agitation qui permettent d'obtenir l'eau la plus limpide, les floes les plus gros et les mieux décantés. Concernant les vitesses d'agitation, la seule certitude est que la coagulation

nécessite une vitesse d'agitation plutôt rapide (afin de bien mélanger l'eau et que les colloïdes et les cations métalliques se rencontrent et se neutralisent) et que la floculation – quant à elle – nécessite une vitesse relativement lente (afin de favoriser la rencontre et l'agrégation des colloïdes mais sans détruire les floes déjà formés) ... (Cherif, L).

Application dans le traitement des eaux

Dans le cadre d'un traitement de potabilisation, la coagulation-floculation peut être utilisée pour éliminer la turbidité de l'eau (microparticules comme l'argile responsable d'un trouble de l'eau). Pour potabilité de l'eau, un procédé de coagulation-floculation doit s'accompagner d'une décantation et d'une élimination rigoureuse des floes. De plus, les quantités de réactifs doivent être précisément évaluées pour ne pas en ajouter de trop.

Dans le cadre du traitement d'eaux usées, on rencontre souvent la coagulation-floculation comme système de traitement tertiaire – dans une station d'épuration urbaine – destiné à éliminer la pollution phosphorée (Cherif, L).

I.3.3. Décantation

La décantation est l'effet de séparation, sous l'effet de la gravitation, de plusieurs phases non-miscibles dont l'une au moins est liquide ou gazeuse. On peut ainsi séparer soit plusieurs liquides non-miscibles de densités différentes, soit des solides insolubles en suspension dans un liquide ou un gaz (le principe peut s'appliquer au traitement de l'air : les pots à poussière des hauts fourneaux fonctionnent suivant ce principe) (Trésor de la langue Française, «Décantation»).

Le terme de sédimentation est utilisé quand le liquide chargé n'est soumis qu'à l'action de la pesanteur, notamment en milieu naturel.

I.3.3.1. Décantation de matières solides

Si un liquide contenant des particules en suspension sont laissées au repos, les particules tombent vers le fond ou remontent à la surface selon leur densité et leur diamètre, sous l'action combinée de leur poids et de la poussée d'Archimède.

Le liquide est appelé couramment « surnageant », alors les particules solides qui se sont déposées au fond du récipient constituent le « dépôt ».

Cette technique de séparation est surtout utilisée en bassin de décantation pour le traitement des eaux usées : dessablage déshuilage, récupération des boues... ce qui peut poser des problèmes d'environnement quand ils contiennent des composés toxiques et qu'ils sont

accessibles aux oiseaux aquatiques qui les confondent avec des milieux naturelles, une étude récente a montré que les oiseaux (dont espèces-gibier) qui se posent sur les bassins de décantation de l'industrie du charbon pollués par de l'arsenic (As), du sélénium (Se) et du mercure (Hg) - après un séjour de 3 à 92 jours - n'ont pas bio accumulé l'arsenic et le mercure, mais que leurs tissus musculaires, hépatiques et sanguins ont accumulé du sélénium durant la période d'exposition 0.

I.3.3.2. Les limites de la décantation

Le processus cinétique de sédimentation peut prendre du temps (jusqu'à plusieurs mois, voire plusieurs années pour certains produits).

- La vinaigrette a tendance à se séparer avec une phase organique en surface (l'huile), une phase aqueuse (vinaigre) et un dépôt au fond constitué des ingrédients solides insolubles (épices).
- La peinture entreposée forme deux phases distinctes, l'une avec les pigments au fond, une autre en surface composée majoritairement de solvant.
- La lie est un dépôt solide qui peut se former dans le vin, la bière, etc.
- La sédimentation est une décantation naturelle des matières solides en suspension dans l'eau (sables et matières organiques) 0.

I.3.4. Filtration

La filtration est un procédé de séparation permettant de séparer les constituants d'un mélange qui possède une phase liquide et une phase solide au travers d'un milieu poreux.

Un filtre à eau est composé d'un système de filtration qui vise à séparer l'eau des particules solides (résidus) en la faisant passer travers d'un milieu poreux, ce qui ne laisse passer que les liquides et les particules solides plus fines que les trous du filtre (porosité). L'eau qui ressort de ce système de filtration est débarrassée des particules solides plus grosses que les pores du filtre (Filtrotechnic, 2016).

I.3.4.1. Types de filtration

- **Filtration en surface**

La filtration en surface retient les particules à la surface du filtre formant un résidu de plus en plus important au cours du temps. Les particules étant retenues par le filtre, cette technique est limitée par l'accumulation des particules à sa surface, qui finissent peu à peu par le boucher, ce qui nécessite de le nettoyer, voire de le remplacer (Filtrotechnic, 2016).

- **Filtration en profondeur**

Dans la filtration en profondeur, les particules sont retenues à l'intérieur du filtre et ne forment donc pas de gâteau en surface, le colmatage s'effectue ainsi beaucoup moins vite. Cependant, cette technique est réservée à la filtration des très petites particules, d'une taille allant du nanomètre jusqu'au micromètre.

- Filtres en papier
- Filtre à sable
- Filtre à sable
- Filtres au charbon actif
- Filtres à résine
- Filtre open source imprimé en 3D

- a. avec le risque de colmater le filtre en cas de surdosage ou de nettoyage insuffisant du filtre à sable
- b. Un excès de flocculant peut accélérer ce procédé de colmatage des pores entre les grains.
- c. avec le temps les grains de sable sont polis et perdent leur capacité de filtration (Filtrotechnic, 2016).

I.3.4.2. Classification des filtrations

- **Mode de passage du fluide**

Il existe deux principales techniques de filtration (Filtrotechnic, 2016)

- La filtration frontale, la plus connue, consiste à faire passer le fluide à filtrer perpendiculairement à la surface du filtre. C'est la technique employée par exemple pour les filtres à café. Les particules étant retenues par le filtre, cette technique est limitée par l'accumulation des particules à sa surface, qui finissent peu à peu par le boucher (colmatage).
- La filtration tangentielle, au contraire, consiste à faire passer le fluide tangentiellement à la surface du filtre. C'est la pression du fluide qui permet à celui-ci de traverser le filtre. Les particules, dans ce cas, restent dans le flux de circulation tangential, et le bouchage s'effectue ainsi beaucoup moins vite. Cependant, cette technique est réservée à la filtration des très petites particules, d'une taille allant du nanomètre jusqu'au micromètre.

- **Dimension des pores**

On peut aussi nommer différemment l'opération de filtration suivant la taille des pores du filtre :

- Filtration clarifiante : diamètre des pores entre 10 et 450 μm .
- Microfiltration : diamètre des pores entre 10 ou 20 nm et 10 μm .
- Ultrafiltration : diamètre des pores entre 1 ou 2 et 10 ou 20 nm.
- Osmose inverse : diamètre des pores entre 0,1 et 1 nm.

On parle de filtration stérilisante lorsque le diamètre des pores est inférieur à 0,22 μm (220 nm), permettant la rétention des micro-organismes (Filtrotechnic, 2016).

I.3.4.3. Mécanismes de filtration

- **Le criblage (ou tamisage)**

C'est un phénomène mécanique, autrement appelé filtration en surface. Le filtre est une membrane perforée par des pores calibrés et de diamètres voisins. Le filtre retient toutes les particules dont le diamètre est supérieur au diamètre des pores. On parle de filtre écran ou de filtre membrane.

L'avantage de cette technique est qu'elle ne retient pas les liquides. Les inconvénients sont :

- Pores d'un diamètre de l'ordre du micromètre.
- Possibilité de colmatage du filtre.

Pour pallier le problème de colmatage il existe trois types de solution :

- L'augmentation du diamètre des pores du filtre, tant que les critères de filtration sont respectés.
- La mise en place d'une pré-filtration, parfois par un filtre aux pores de diamètre plus important ou plus généralement par l'installation d'un cyclone ou d'un multi-cyclone en amont.
- La mise en place d'un système de décolmatage, par secousse (de plus en plus rare) ou à air comprimé (Filtrotechnic, 2016).

On peut également noter que le colmatage du filtre, entraînant la formation d'un gâteau sur ce dernier est un élément important de la filtration car ce gâteau devient lui-même un élément filtrant. La maîtrise du colmatage/décolmatage du filtre en est d'autant plus importante (Filtrotechnic, 2016).

- **L'absorption**

Autrement appelée filtration en profondeur. Ce mécanisme consiste à retenir à l'intérieur du réseau poreux du filtre des particules dont la taille peut être inférieure au diamètre des pores. C'est un phénomène physique, avec 2 facteurs principaux (Filtrotechnic, 2016) :

- Réseau poreux chargé électriquement
- Constitué par de longs et fins canalicules fortement contournés.

Les Filtres sont constitués de cellulose, laine, coton. L'avantage principal est la grande capacité de rétention. Les inconvénients sont :

- Possibilité de relâcher les particules (relargage ou désorption).
- Absorption de liquides.
- Difficulté de définir la porosité.

- **L'osmose inverse**

L'osmose inverse est un procédé de filtration à travers une membrane semi-perméable à l'inverse du gradient osmotique par application d'une pression sur le liquide à filtrer. Elle est utilisée pour le traitement de l'eau, notamment la dessalinisation de l'eau de mer et la production d'eau purifiée, et dans l'industrie agroalimentaire pour concentrer sirops de fruit, mélasses, moûts, lait... (Panagopoulos et al.)

I.3.4.4. Équipement

Au niveau industriel, la filtration est largement utilisée notamment dans l'industrie chimique où la filtration est une méthode de séparation de choix après une cristallisation. Différents systèmes sont disponibles en fonction des conditions de la filtration

Dans d'autres domaines industriels (cimenterie, fonderie, etc.) la filtration est généralement effectuée par criblage / tamisage et les filtres sont, dans la grande majorité du temps, des filtres à manches. Ci-dessous une liste non-exhaustive des Filtres utilisées (Filtrotechnic, 2016) :

- **Filtre Nutsche**

Il s'agit de la version industrielle du filtre Büchner utilisé au laboratoire. Cet équipement est très utilisé, car toutes les étapes de la filtration jusqu'au séchage peuvent être effectuées dans la même unité

- **Filtre presse.**
- **Filtre à manches.**
- **Filtre à pression**
- **Filtre à feuilles**
- **Filtre à chandelle**
- **Filtre presse**
- **Filtre à pression continu**

I.3.4.5. Dans l'environnement

De nombreux hydroxydes métalliques sont naturellement présents dans l'environnement. Certaines bactéries (Ferro bactéries par exemple) contribuent à la production d'hydroxydes dans leur milieu (hydroxyde ferrique dans ce cas 0).

À ces hydroxydes naturels s'ajoutent parfois des hydroxydes d'origine industrielle.

Les hydroxydes sont chimiquement très réactifs et peuvent négativement interférer avec des processus biologiques et/ou physiques importants (avec la prise des ciments par exemple 0, bétons ou d'autres liants hydrauliques tels que des résines). Pour les mêmes raisons, ils peuvent ainsi nuire à certains mécanismes d'inertage de déchets boueux (sédiments, boues d'épuration) (Diet, 1997).

I.4. : La législation Algérienne sur les rejets industriels

I.4.1. Les rejets industriels en Algérie

Connaissant les impacts négatifs que les rejets industriels et publiques puissent avoir sur l'environnement, les gouvernements emploient souvent des lois qui régiront ces rejets, en définissant des limites normatives, des protocoles à suivre et aussi des sanctions. L'Algérie n'est pas une exception. En effet, plusieurs articles et décrets exécutifs ont été établis concernant la circulation des rejets publics, industriels ou ceux des égouts.

Ainsi, Le décret exécutif N° 10-88 du 10 mars 2010 a pour objet de fixer les conditions et les modalités d'octroi d'autorisation de rejets d'effluents, de déversements ou de dépôts de matières de toute nature ne présentant pas de risques de toxicité ou de nuisance dans le domaine public hydraulique. L'article 2 du décret explique que le risque de toxicité de ces rejets est apprécié par des valeurs limites maximales et des données particulières fixées par arrêté du ministre chargé des ressources en eau. Les articles 7, 8 et 9 expliquent que des prélèvements périodiques doivent être effectués dans le but de les tester, suite à quoi un rapport sera rédigé indiquant la conformité ou non aux préinscriptions. En cas de non-conformité, des mesures correctives sont suggérées.

Le décret exécutif N° 09-209 du 11 juin 2009 a cependant pour objet de fixer les modalités des eaux usées autres que domestiques (dans un réseau public d'assainissement ou dans une station d'épuration). A l'instar du décret précédent, l'article 3 explique que La teneur en substances nocives dans ces eaux ne peut dépasser les valeurs limites maximales définies en annexe du même décret. L'article 4 annonce que toute eau dont les caractéristiques ne sont pas conformes aux prescriptions devra subir un prétraitement avant son déversement dans un réseau public d'assainissement ou dans une station d'épuration.

Finalement, pour définir les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels, le décret exécutif 06-141 a été établi. Les valeurs limites de rejets d'effluents liquides industriels sont fixées en annexe du même décret. L'article 4 en particulier spécifie que toutes les installations générant des rejets industriels doivent être conçues et exploitées de manière à ce que leurs rejets ne dépassent pas les valeurs limites des rejets définies en annexe et doivent être dotées d'un dispositif de traitement approprié de manière à limiter la charge de pollution rejetée.

Ces réglementations sont généralisables sur la majorité des unités industrielles. Néanmoins, des exceptions existent qui doivent être traitées de manière spéciale par le

gouvernement, dans le but d'assurer une protection plus solide de l'environnement. On parle évidemment d'«établissements classés».

Le décret exécutif N° 06-198 définit un établissement classé comme l'ensemble de la zone d'implantation comportant une ou plusieurs installations classées. Ces dernières sont des unités techniques fixes dans lesquelles interviennent une ou plusieurs activités figurant dans la nomenclature des installations classées telle que fixée par la réglementation en vigueur. L'article 4 du décret explique que l'utilisation d'un établissement classé nécessite une autorisation d'exploitation, cette dernière n'est délivrée que si l'établissement concerné est conforme aux prescriptions et conditions relatives à la protection, la salubrité et la sécurité de l'environnement. Pour demander une telle autorisation, une étude d'impact sur l'environnement doit être établie et approuvée, accompagnée d'une étude de danger en plus d'une enquête publique effectuée conformément aux modalités fixées par la réglementation (Article 5).

En plus de ça, le gouvernement Algérien veille également à assurer la protection de l'environnement en gérant le contrôle et l'élimination des déchets à travers des modalités rédigées dans la loi-n°01-19. L'article 2 annonce les 5 principe du contrôle et élimination des déchets **Error! Reference source not found..**

- la prévention et la réduction de la production et de la nocivité des déchets à la source.
- l'organisation du tri, de la collecte, du transport et du traitement des déchets.
- la valorisation des déchets par leur réemploi, leur recyclage et toute autre action visant à obtenir, à partir de ces déchets, des matériaux réutilisables ou de l'énergie.
- le traitement écologiquement rationnel des déchets.
- l'information et la sensibilisation des citoyens sur les risques présentés par les déchets, ainsi que les mesures prises pour réduire ces risques.

I.4.2. L'industrie de transformation métallique

Le traitement de surface est un procédé mécanique, chimique, électrochimique ou physique qui vise à modifier l'aspect de la surface des matériaux métalliques afin de les préparer à des utilisations spécifiques.

Le processus du traitement de surface est composé de plusieurs étapes

I.4.2.1. Préparation des surfaces

D'abord, Il est essentiel de nettoyer les surfaces pour enlever les souillures. La rugosité de la pièce est modifiée grâce à des procédés de polissage et d'ébavurage tandis que des procédés de

dégraissage éliminent les corps gras. Les procédés de décapage éliminent les traces de corrosion et d'oxydes. Ces procédés peuvent se faire par voie mécanique, chimique ou électrolytique et sont tous suivis d'un rinçage, soit par nettoyage sous pression, douche, trempage dans un bac, rinçage mort ou rinçages en cascades (CISALB, 2011). Les rejets produits à la fin de cette étape sont :

- Les rejets de rinçage des pièces (chargé en MES et en métaux lourds)
- Déchets liquides (Bains usagés)
- Déchets solides (Copeaux de chutes de métaux et Poussières métalliques et sable de décapage métalliques)

I.4.2.2. Revêtements de surface

Il consiste à appliquer un revêtement exogène sur la pièce ou à modifier les propriétés chimiques de sa surface dans le but de lui conférer un comportement adapté à son utilisation future, par exemple en façonnant des surfaces qui pourront être lubrifiées. Ces procédés peuvent prendre plusieurs voies (CISALB, 2011) :

- chimiques (phosphatation, chromatisation)
- électrolytiques (électrodéposition, chromage, cadmiage, anodisation, sulfuration...)
- thermiques (étamage, immersion, projection thermique, thermolaquage...)
- thermochimiques (carbonituration, boruration, sulfuration, bleuissage, diffusions...)
- mécaniques (dorure, argenture, cuivrage, soféidation...)

La majorité de ces procédés utilisent des solutions alcalines ou acides à une température élevée et sont tous suivis d'un rinçage. Les rejets à la fin de cette étape sont :

- Des rejets de rinçage des pièces (chargé en MES et en métaux lourds)
- Déchets liquides (Bains de traitement usagés)

I.4.2.3. Protection des surfaces

Elle consiste à appliquer un traitement anti-corrosion à la pièce traitée soit par les mêmes procédés de revêtement, soit par passivation (plonger la pièce dans un bain acide afin de former un film protecteur d'acier oxydé) ou encore par l'application d'une peinture de protection sur les surfaces. Tous ces procédés sont suivis d'un rinçage (CISALB, 2011). A la fin de cette étape on aura :

- Des rejets de rinçage des pièces (chargé en MES et en métaux lourds)
- Déchets liquides (Bains électrolytiques usagés)

I.4.2.4. Lavage des sols

Lavage des sols des ateliers de traitement de surface est réalisé l'aide d'une autolaveuse

I.4.3. L'importance du pH et la formation des hydroxydes métalliques

I.4.3.1. Importance du pH

Le traitement des eaux usées s'accompagne de la production d'une quantité énorme de boues résiduelles. Plus que 60 % de ces boues sont valorisées en agriculture. Cependant, lorsque certaines valeurs limites en éléments métalliques sont dépassées, leur valorisation agricole devient interdite.

Le pH est un paramètre très important et nécessaire pour juger la nocivité des boues sur les plantes. En effet, il est nécessaire de d'assurer que la mobilité des métaux accumulés vers les plantes soit limitée, et le premier indicateur sur cette mobilité n'est autre que le pH du sol.

Des études ont montré que l'abaissement des pH favorise la mobilisation des métaux par échange protonique. De ce fait, la réglementation a interdit l'apport de boues dans les sols à pH acides (inférieur à 6) après l'épandage. Ceci justifie l'interdiction de l'épandage sur les sols à pH inférieur à 5 et l'exigence de chauler les boues dans le cas des sols ayant un pH compris entre 5 et 6 avant épandage **Error! Reference source not found.**

I.4.3.2. Formation des hydroxydes métalliques

Le traitement de surfaces fait partie des secteurs d'activité les plus polluants à cause de la production d'eaux usées contenant des résidus de type cyanures, acides, bases, métaux lourds (Ni^{2+} , Zn^{2+} , Cr^{3+} , etc.). Du fait de leur toxicité, ces effluents industriels doivent être traités pour respecter les seuils imposés par la réglementation, avant le rejet dans le milieu naturel. Il faudra donc réaliser un traitement physico-chimique des effluents arrivant en station d'épuration. Ce traitement inclut une étape de précipitation des métaux lourds, généralement obtenue avec de la soude ou de la chaux éteinte **Error! Reference source not found.**

La précipitation passe par deux étapes :

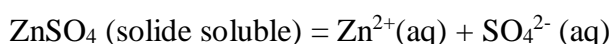
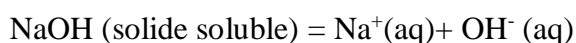
I.4.3.3. Précipitation par voie chimique

La précipitation chimique regroupe des procédés bases sur l'application de la loi de Bertholet : un réactif soluble est ajoutée à l'eau. Par combinaison ou permutation avec les ions indésirables présents, un composé insoluble voire très peu soluble se forme, précipitant jusqu'à sa limite de solubilité. Elle se détermine par le produit de solubilité, variable selon la

température, la force ionique et la nature des autres ions dissous **Error! Reference source not found.**

I.4.3.4. Précipitation sous forme d'hydroxydes métalliques

La précipitation a lieu dans un système contenant des ions pouvant former un solide ionique peu soluble, quand le produit des concentrations des ions en solution K' est supérieur au K_s du solide. Par exemple, le mélange de NaOH et d'une solution de sulfate de zinc $ZnSO_4$ aboutit à une solution contenant les ions Na^+ , OH^- , Zn^{2+} et SO_4^{2-} :



Or les concentrations en solution des ions Zn^{2+} et OH^- provenant de la dissociation des sels solubles sont régies par le K_s de $Zn(OH)_2$, avec $K_s = 7,0 \times 10^{-18}$.

La précipitation a lieu si le produit $K' = [Zn^{2+}][OH^-]^2$ est supérieur au K_s . Les ions Na^+ et SO_4^{2-} restent en solution puisqu'ils peuvent seulement former le sel soluble Na_2SO_4 . La constante de solubilité permet d'apprécier l'importance du processus de dissolution. A une échelle microscopique, la dissolution du précipité dans la solution correspond à un changement des forces d'attraction intermoléculaires à l'origine de la variation d'enthalpie. La précipitation aboutit à la formation d'un solide ionique peu soluble (Tatangelo, 2006).

I.4.4. Les traitements des rejets des industries métalliques

Les principales étapes du traitement sont :

I.4.4.1. Stockage

Les différents effluents sont stockés selon qu'ils sont concentrés (bains usés et statiques) ou dilués (rinçages courants), et selon leur nature particulière (dégraissage, chromique ou cyanuré, acide ou basique). Le stockage des différents effluents permet d'alimenter les divers réacteurs de manière plus régulière en débit et en composition et, ainsi, de faciliter les traitements 0.

I.4.4.2. Prétraitements

- **Déshuilage des rinçages de dégraissages**

Cette opération est indispensable car la présence d'huile peut perturber le traitement physico-chimique. Si les sphérules d'huile dans l'effluent se rassemblent en surface pour former une suspension, un déshuileur statique gravitaire est utilisé pour soutirer un mélange huile/eau.

Sinon si les sphérules forment une émulsion stable, les techniques les plus employées sont la centrifugation et l'ultrafiltration 0.

- **Déchromatation**

La déchromatation est le traitement qui permet de réduire le chrome VI en chrome III. Le plus souvent, la réduction est réalisée avec le bisulfite de sodium ou l'hydrogénosulfite de sodium 0.

- **La neutralisation/précipitation des ions métalliques**

Neutralisation seule pour les acides ou bases organiques ou minéraux dont les sels ne sont pas toxiques (H_2SO_4 , HCl, NaOH) et/ou complétée d'une réaction d'oxydoréduction pour les cyanures, les sulfures et les chromates la floculation : permet ensuite d'augmenter la taille des particules par l'établissement d'une liaison chimique interparticulaire correspondant à la formation d'un floc **Error! Reference source not found.**

- **La séparation solide/liquide**

Séparation par précipitation pour les métaux précipitables dans une zone déterminée de pH, pour les sulfures, fluorures, phosphates par ajout de calcium **Error! Reference source not found.**

- **Le traitement des boues**

Il a pour objectif de réduire le volume des boues pour faciliter leur manipulation et de réduire les couts d'élimination finale **Error! Reference source not found.**

Chapitre II : Matériels et méthodes

Ce chapitre est consacré à la préparation des différents réactifs et de l'appareillage utilisés. On étudie l'élimination des métaux lourds (Fer, Zinc) d'une eau industrielle de traitement de surface. Le traitement se fait par précipitation par ajustement de pH ; l'étude se fait par Jar-test en plus des méthodes de coagulation-floculation et précipitation.

II.1. Matériels

- pH mètre (HANNA Instruments Ph2009).
- Turbidimètre (HANNA Instruments – HI887136 ISO Turbidimeter).
- Jar-test de 4 floculateurs FIS0100.
- Plaque chauffante EW04805 Series.
- Balance analytique.
- Papier Filtre.
- Appareil de filtration.
- Bêchers de 500 ml.
- Pipette jaugée.

II.2. Préparation des solutions

- Hydroxyde de sodium de marque commerciale Nasah dont la pureté est de 99,9%. L'Hydroxyde de sodium est soluble dans l'éthanol. Sa dose journalière admissible est non spécifiée depuis 1966, il provoque l'augmentation de PH des solutions acide (alcanisation des milieux) ce qui favorise Leur utilisation dans les stations d'épuration.
- Eau de Robinet
- Les solutions des bassins A, B, C, D, E :
 - Solution de bassin A : contient des déchets métalliques qui résulte de l'éclatement de la rouille du métal au contact d'eau ce qui forme la calamine.
 - Solution de bassin B : contient l'acide (HCl) a 7% et a 50C° qui permet de dissoudre tous les oxydes et hydroxydes métalliques.
 - Solution de bassin C : contient l'acide (HCl) a faible concentration qui résulte de l'opération de rinçage du fils en sortie du bassin d'acide
 - Solution de bassin D : contient le flux ($ZnCl_2$, NH_4Cl) qui empêche l'oxydation du métal Et permet l'adhésion du zinc fondu sur le métal
 - Solution de bassin E : contient de Zn fondu, qui permet de recouvrir le métal par une Micro-couche de Zn.

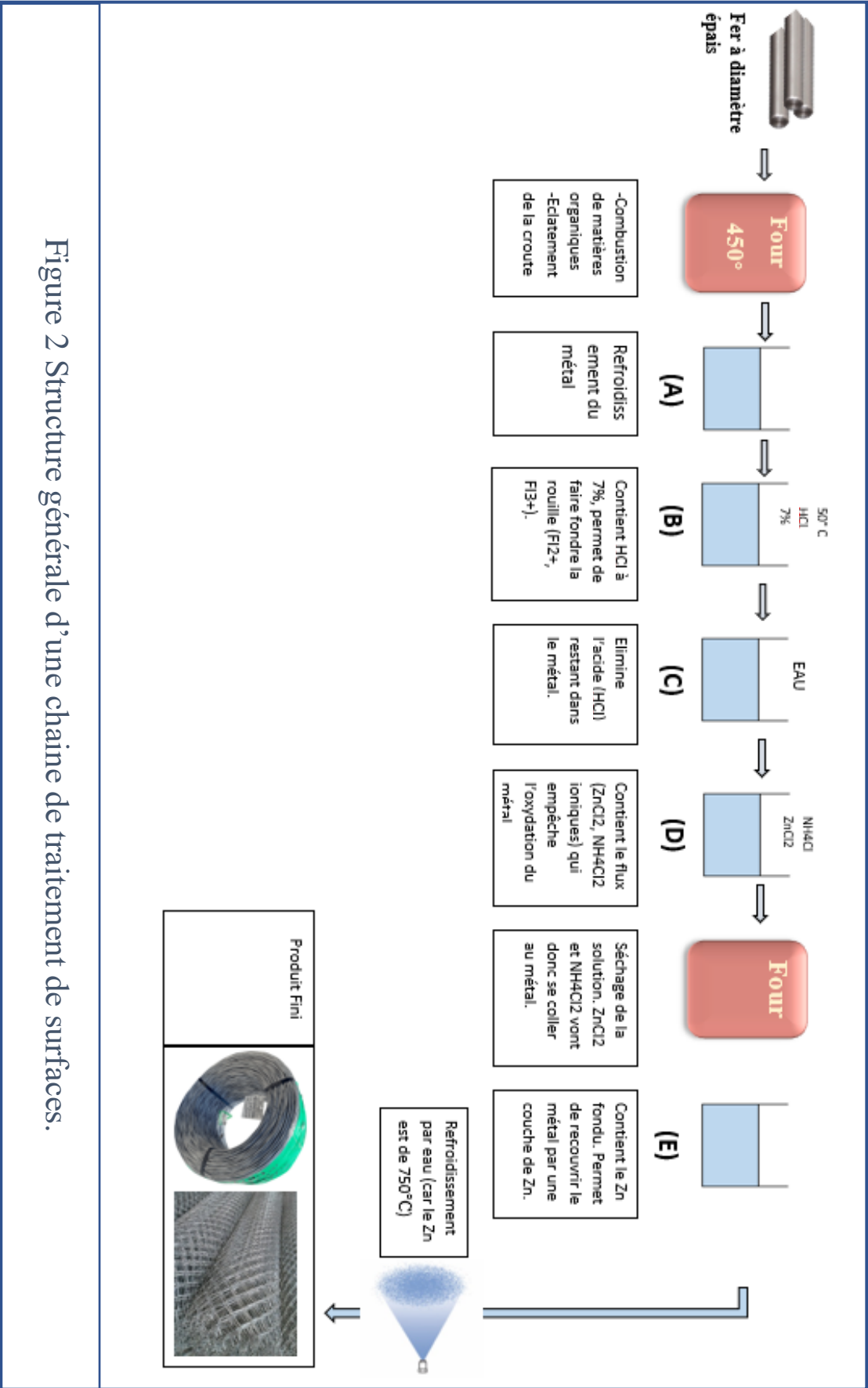


Figure 2 Structure générale d'une chaîne de traitement de surfaces.

II.3. Mode opérationnel

La méthode suivie constitue en le traitement séparé au niveau du laboratoire des eaux usées des bassins quotidiens et les eaux usées des bassins concentrés selon le diagramme de la Figure 3

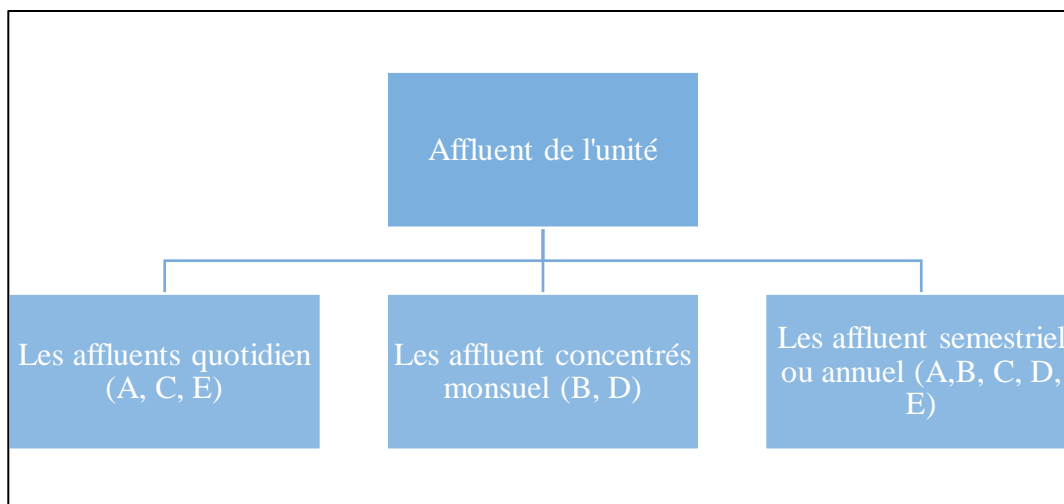


Figure 3 Les différents types d'affluents à traiter au niveau du laboratoire.

Faire une neutralisation du pH des solutions groupes (ACE) et les solutions individuelles (B et D) au niveau du laboratoire et qui sont prélevées d'une usine de traitement de surface afin de connaître le pH favorable de la neutralisation. La neutralisation se fait par l'hydroxyde de sodium NaOH à 50% (50g NaOH +100 ml d'eau distillée). Après la décantation, on mesure la turbidité du surnageant, le volume de la boue et sa siccité. L'ensemble des résultats est rassemblé dans les tableaux de la section « Résultats et discussion ».

- **Protocole de neutralisation A C E (rejet journalier)**

On veut faire la neutralisation sur 4 béchers pour avoir 4 valeurs différentes de pH (les valeurs cibles étaient 9, 10, 11, 12). A l'aide des résultats de mesures appliquées aux 4 béchers on pourra identifier quelle valeur de pH est favorable.

A l'aide d'une pipette on verse 100ml de la solution du bassin A, 40 ml de la solution du bassin C et 100 ml du bassin E dans 4 béchers différents de volume 500 ml. Nous aurons donc 4 béchers chacun contenant 240ml de la solution ACE

- 1^{er} bécher : On ajoute progressivement du NaOH 50% à l'aide d'une Pipette Jaugée puis on effectue une agitation rapide (200 tours/min) sur une plaque chauffante. Ensuite, on mesure

le pH par pH-mètre qui indique une valeur de 9,5. Il a fallu 0,07 ml de NaOH pour obtenir ce pH.

- 2^{ème} bécher : Il a fallu 0,14 ml de NaOH pour obtenir un pH de 10,86.
- 3^{ème} bécher : Il a fallu 0,14 ml de NaOH pour avoir un pH de 11,86.
- 4^{ème} bécher : Il a fallu 0,5 ml de NaOH pour obtenir un pH de 11,96.

- **Protocole de neutralisation des solutions B et D (Rejets Mensuels)**

On veut faire une neutralisation sur deux béchers pour avoir deux valeurs différentes de pH. Nous voulons atteindre un pH de 9 pour la solution B et un Ph de 11 pour la solution D.

A l'aide d'une pipette, on verse 100ml de la solution du bassin B et 200 ml d'eau de robinet dans le premier bécher, et dans le deuxième bécher on verse 100ml de solution du bassin D et 200 ml d'eau de robinet, on aura donc deux béchers de 500ml chacun contenant une solution de 300ml.

- Bécher B : Après l'ajout d'une grande quantité de NaOH (un volume de 34,7 ml) le pH maximum obtenu était de 5,3.
- Becher D : il a fallu 7,8ml de NaOH pour obtenir un pH de 11,6.

- **Essais de précipitation « Jar Test »**

Les essais de Jar-test ont été réalisés sur un flocculateur de 4 agitateurs qui agitent pendant 30 min avec une vitesse de 45 tours/min (vitesse de formation des flocons et leur taux de grossissement). Ensuite, une décantation de 45 min aura lieu, pendant laquelle le floc déstabilisé est entraîné vers le fond des béchers.

- **Mesure de la turbidité**

La turbidité traduit la présence de particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques) et est mesurée par l'unité NTU (RÉFEA). Pour mesurer la turbidité nous devons :

- Siphonner l'eau surnageante par un appareil de filtration.
- Remplir la cuve de l'étalonnage jusqu'au bout.
- Rincer la cuve par papier optique.
- On met notre échantillon dans le turbidimètre et on enregistre la valeur affichée sur ce dernier.

- **Mesure de la siccité**

La siccité représente le pourcentage massique de matières séchées contenues dans la boue (Dictionnaire environnement). Pour la mesurer :

- Durant la filtration effectuée pendant la mesure de turbidité, la solution avait traversé le papier filtre ne laissant que le surnageant passer, ce filtre contient donc la boue restante.
- On pèse le papier filtre contenant cette boue mouillée (c'est la masse de boue originale).
- On met le papier filtre (contenant la boue mouillée) dans l'étuve sous 100°C pendant 24h.
- Finalement on pèse le papier filtre contenant la boue séchée et on note la masse de cette dernière.

$$Siccité = \frac{\text{masse boue séchée} \times 100}{\text{masse boue initiale}}$$

NB : La mesure de la turbidité, siccité et la masse de boue sont faits pour tous les béciers des rejets journaliers (ACE) et les rejets mensuels (B et D).

Chapitre III : Résultats et discussion

III.1. Rejet journalier (rejet diluées) A C E

Le Tableau 6 contient les valeurs mesurées des paramètres physico-chimiques pour les solutions A C E. La siccité ou le taux d'humidité est calculé à partir du rapport de la masse de la boue sèche sur la boue humide.

Tableau 6 Résultats des tests appliquées sur les solutions A C E

	1 ^{er} bécher	2 ^{ème} bécher	3 ^{eme} bécher	4 ^{ème} bécher
pH ajusté	9,50	10,86	11,86	12,00
Turbidité surnagent (NTU)	20,50	84,30	15,04	25,55
Volume Boue décantée (ml)	2,34	2,18	2,90	2,80
Masse Boue initiale (g)	3,548	7,356	24,515	7,199
Masse Boue séché (g)	2,560	3,818	6,048	4,561
Siccité (%)	72,11	51,90	24,67	63,33

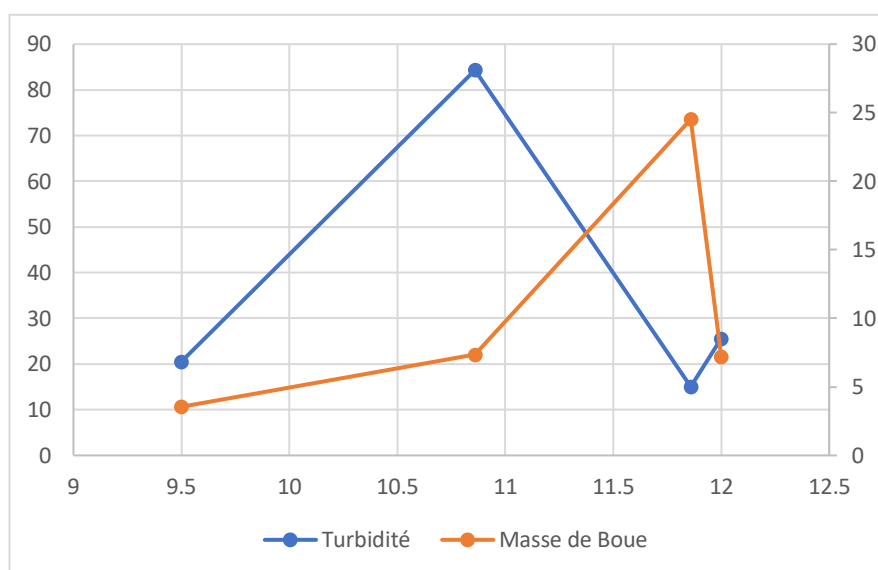


Figure 4 Evolution de la turbidité et des matières en suspension en fonction du pH.

- Globalement, nous remarquons une relation inverse entre la masse de la boue et la turbidité du surnageant. Plus grande est la boue précipitée, moins turbide est le surnageant.
- On atteint une turbidité minimale pour un pH de 11.86.

- On remarque aussi que le temps de décantation est très court pour ce pH-
- L'intervalle [pH 11 – pH 12] est intéressant pour la précipitation des rejets journaliers (A C E). Ceci s'explique par le fait que les métaux contenus dans ces solutions (principalement le fer et le zinc) ne peuvent précipiter ensemble que pour ces pH **Error! Reference source not found.**
- Au pH de 11,86, on remarque aussi que la siccité de la boue est minimale. Le séchage d'une telle boue éliminera donc un grand pourcentage humide et ne laissera qu'une petite portion sèche. Cela s'avère très avantageux d'un point de vue de traitement, parce qu'en minimisant le poids final de la boue, on gagne de la place pendant le stockage et le transport de cette dernière.

III.2. Rejets mensuelle (concentrer) B et D

Le Tableau 7 contient les résultats des tests physicochimiques appliqués sur les solutions B et D.

	Solution B	Solution D
pH ajusté	5,3	11,6
Turbidité surnagent (NTU)	65,51	45,80
Valeur NaOH (ml)	34,7	7,8
Volume Boue décantée (ml)	254	78
Masse Boue initiale (g)	8,64	8,94
Masse Boue séché (g)	0,8637	0,9313
Siccité %	9,95	10,40

Tableau 7 Résultats des tests appliquées sur les solutions B et D

- La solution D se caractérise par un volume de boue important et une masse élevée des MES dans sa boue, accompagné par une turbidité relativement faible. Cela est dû au fait que le bassin D contient à l'origine un flux de composant ioniques ($ZnCl_2$ et NH_4Cl_2) qui engendre une précipitation des ions de Zinc importante sous un pH de 11.
- Pour la solution B, le volume de boue et sa teneur en MES est inférieur par rapport au D, tandis que sa turbidité est supérieure. La solution B est caractérisée par une précipitation du fer dissout dans la solution acide en hydroxyde métallique, cette précipitation produit cependant moins de boue sou pH 5 comparé à la solution D.

- Dans le cas des deux solutions (B et D) on remarque que la siccité des boues est presque identique et est équivalente à 10%. C'est une siccité relativement faible ce qui signifie que le traitement par séchage sera bénéfique en termes de minimisation du poids.

Conclusion

Au cours de cette thèse, nous avons pu caractériser les eaux usées, leurs paramètres physique et chimiques (pH, turbidité, volume de boue, siccité).

Les eaux usées sont d'origines publiques ou industrielles et sont caractérisées par leur teneur en éléments organiques/ inorganiques ainsi que des oligoéléments et des métaux lourds. Elles sont aussi caractérisées par une couleur et une odeur unique.

L'importance des industries métallurgiques dans tous les pays notamment l'Algérie implique la création continuée de grandes quantités de rejets et d'eaux usées. Par conséquent, ces éléments sont de plus en plus présents dans les canalisations urbaines. Ce problème nécessite la création d'un moyen de réduction/ protection contre ces effluents.

. La précipitation est effectuée à l'aide d'un agent (la soude NaOH où la chaux $\text{Ca}(\text{OH})_2$) qui réagissent avec les ions métalliques présent dans l'eau formant ainsi des précipités, ces derniers sont groupés en masse de flocons lors de la coagulation et la floculation, formant une masse de boue séparable du surnageant par décantation. Le surnageant peut être recyclé vers la chaîne de production tant qu'il n'est pas trop pollué alors que la boue devra être éliminée.

La précipitation des métaux lourds dépend d'une multitude de conditions du milieu ; le pH est ainsi un paramètre fortement corrélé avec la qualité de la précipitation. Les résultats de l'analyse expérimentale ont montré que les rejets des industries de traitement de surface subissent une précipitation optimale sous des pH élevés (entre 11 et 12). La précipitation sous ces conditions produit une boue chargée en métaux et matière en suspension ainsi qu'une eau pauvre en élément toxiques, cette eau pourra donc être retournée vers la chaîne de production.

L'élimination de la boue nécessite -dans un premier temps- la déshydratation de l'eau, ce qui permet d'éliminer le surnageant obtenu après décantation (à moins qu'il soit réutilisé). La boue précipitée restante sera éliminée directement si sa siccité est élevée. Dans le cas contraire (siccité faible) on pourrait effectuer un séchage qui éliminerai la partie humide en ne laissant qu'un faible poids de boue sèche (économisation de l'espace nécessaire pour stocker et transférer ces boues). Nos résultats montrent que pour un pH entre 11 et 12, la siccité est faible pour les solutions ACE, B et D et donc cette démarche est totalement envisageable.

Ce travail a montré que la précipitation des métaux lourds par coagulation-floculation est une méthode efficace et simple pour séparer les éléments toxiques des eaux usées.

Cette approche pourra voir une amélioration en termes de l'optimisation du processus par utilisation d'éléments chimique moins couteux.

Références bibliographiques

- Alturkmani, A. (2013) *Industrial wastewater*. “Environmental Engineering Website”.
- Bengouga, K. (2010) *Contribution à l'étude du rôle de la végétation dans l'épuration des eaux usées dans les régions arides*. Thèse de Master, Université Mohamed Khider Biskra.
- Berrefai, F. (2012). *Dégradation d'un rejet de laboratoire par traitements en systèmes combinés* (Dissertation doctorale, Université de Mostaganem-Abdelhamid Ibn Badis).
- Biswas, J. (2013). *Evaluation of various method and efficiencies for treatment of effluent from iron and steel industry—a review*. International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research, 2(3), 67-73.
- Bouallegue, M. M. (2010). *Des métaux dans les boues de stations d'épuration ?*
- Cherif, L. *Etude comparative sur le prétraitement des eaux salées par coagulation floculation décantation et l'ultra filtration* (Dissertation doctorale, Université de Tlemcen-Abou Bekr Belkaid).
- Classification de la filtration, Filtrotechnic (Archivé sur wikiwix).
<http://archive.wikiwix.com/cache/index2.php?url=http%3A%2F%2Fwww.filtrotechnic.fr%2F%2FGlossaire%2Fclassification-filtration.html>
- Desjardins, R (1997) *Le traitement des eaux*. Édition de l'école Polytechnique de Montréal.
- Dictionnaire Environnement. *Siccité*, <https://www.dictionnaire-environnement.com/>.
- Diet, J. (1997). *Stabilisation/solidification des déchets : Perturbation de l'hydratation du ciment Portland par les substances contenues dans les boues d'hydroxydes métalliques*.
- Dupont, A. (1987) *Lime treatment of liquid waste containing heavy metals*, Pollution Engineering p.84-88.
- Fiessinger. F (1979), *Coagulation*, article présenté au congrès d'AIDE, Kyoto 1978. Liaison Cortambert, vol.53, p. 32-37, Avril 1979.
- Fowler, G.D. et Asavapisit, S., (1995), *A study of the chemical effect of metal hydroxides upon cement hydration reaction*, Congrès international sur les procédés de solidification et de stabilisation des déchets, Nancy, France.
- Gouy J.-L. et Labroue L. (1984), *Sur quelques ferrobactéries isolées dans le Sud-Ouest de la France : écologie et rôle dans l'environnement*. Annales de limnologie, vol. 20, no 3, p. 147-156, EDP Sciences.
- Grosclaude, G. (1999). *L'eau : Tome 2 : Usages et polluants*. Quae.
- Leaphart, J. C., & al. (2010) *Patterns of trace element accumulation in waterfowl restricted to impoundments holding coal combustion waste*; Environmental Toxicology and Chemistry (ETC) ;
- « *La pollution industrielle, impacts sur l'Homme et l'environnement* », BEM Recycling (2018)
<http://bemrecycling.com/la-pollution-industrielle-impacts-sur-lhomme-et-lenvironnement/>

Références bibliographiques

Libes, Y, (2010) : *Les eaux usées et leur épuration*. Sur le site « Les eaux usées et leur épuration (ac-nancy-metz.fr) »

Limayem Blouza, I., (2019), *La Sterilisation*. [Diapositives].

« *Métallurgie* », France Industrie (2018), <https://www.france-industrie.pro/metallurgie/>

Panagopoulos, A., Haralambous, K. J., & Loizidou, M. (2019). *Desalination brine disposal methods and treatment technologies-A review*. *Science of the Total Environment*, 693, 133545

Pénéliou, F. R. (2003). *Les carboxylates de sodium: réactifs de précipitation sélective des cations métalliques contenus dans les effluents liquides* (Dissertation doctorale, Université Paul Verlaine-Metz).

Perras, J. (1984). *Critères de faisabilité pour le traitement biologique du mélange des eaux usées municipales et industrielles* (Dissertation doctorale, Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique).

Rejsek, F. (2002). *Analyse des eaux : Aspects réglementaires et techniques*. Centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine.

Remili, S., & Kerfouf, A. (2013). *Évaluation de la qualité physico-chimique et du niveau de contamination métallique (Cd, Pb, Zn) des rejets d'eaux usées d'Oran et de Mostaganem (littoral Ouest algérien)*. *Physio-Géo. Géographie physique et environnement*, (Volume 7), 165-182.

Rodier, J. (2005). *L'analyse de l'eau*.

Tatangelo, A. (2006). *Optimisation de la précipitation des métaux lourds en mélange et valorisation des boues d'hydroxydes : application aux effluents de traitement de surfaces* (Dissertation Doctorale, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne).

Trésor de la langue Française informatisé. *Décantation*. Site du centre national de ressources textuelles et lexicales, <https://www.cnrtl.fr/dictionnaires/modernes/>.

Vidonne, A. (2017). *Traitement des eaux résiduaires dans les ateliers de traitements de surface*. Techniques de l'ingénieur.