

République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE CHIMIE

DOMAINE : SCIENCE DA LA MATIERE

FILIERE : CHIMIE

MEMOIRE MASTER

SPECIALITE : CHIMIE DE L'ENVIRENNEMENT

THEME

**DEPHOSPHATATION DES EAUX CHARGEES EN
PHOSPHATE**

Présenté par : **HABI Thilelli**

HAMDOUNE Lydia

Soutenu publiquement, le 07/07/2018 devant le jury composé par :

KADOUCHE	Slimane	MCA	UMMTO	Président
ALI	Oumesaad	MCB	UMMTO	Encadreur
CHEIKH	Assira	MCB	UMMTO	Examinatrice
FARRAG	Fatiha	MCB	UMMTO	Examinatrice

Remerciements

Nous devons premièrement exprimer notre respect et reconnaissance à notre promotrice M^{lle} ALI Oum Saad, Maître de conférences (B) à l'université de Tizi-Ouzou, qui a proposé cette thématique intéressante et qui a accepté de nous encadrer, Merci pour votre suivi, votre soutien, vos conseils, votre disponibilité et votre patience. On ne vous remerciera jamais assez pour vos différentes orientations.

Nos remerciements s'adressent également au président de jury Mr KADOUCHE Slimane Maître de conférence (B) à l'université de Tizi-Ouzou, d'avoir accepté de présider le jury de soutenance de ce mémoire de fin d'étude.

On tient à remercier M^{lle} CHEIKH Assira Maître de conférences (B) à l'université de Tizi-Ouzou pour son aide inestimable qu'elle nous a apporté, et d'avoir accepté d'examiner notre travail.

On remercie Mme FERRAG Fatiha, Maître de conférences (B) à l'université de Tizi-Ouzou pour l'honneur qu'elle nous fait, en acceptant d'examiner notre travail de fin d'étude.

Nous adressons également nos profondes gratitude à tous les enseignants de l'UMMTO en particulier à ceux de département chimie.

Pour finir, nous tenons à exprimer nos infinis remerciements à nos chères familles qui nous ont toujours soutenues et à tous ceux qui ont participé à la réalisation de ce mémoire.

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

- *Mes parents :*

Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude

Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

- *Mon frère qui n'a cessé d'être pour moi un exemple de persévérance, de courage et de générosité*
- *Ma belle-sœur, Merci d'être là à mes côtés, par ta présence et ton encouragement*
- *Mes amis*
- *Ma binôme et sa princesse Thafath*

Lydia

Dédicaces

Je dédie ce travail à mes très chers parents en guise de reconnaissance pour leurs soutien durant tout mon parcours, que dieu les protège.

A mon cher mari, pour sa patience, son soutien car c'est grâce à son aide que j'ai pu aller jusqu'au bout de ce mémoire.

A Ma très chère fille Thafath, le rayon de soleil qui égaye ma vie.

A mon frère et mes sœurs. A Ma belle-famille.

A mes amis.

A ma binôme.

Thilelli

Liste des abréviations

P : phosphore

P₀ : concentration initiale du phosphore

N : Azote

pH: Potentiel d'Hydrogène

DCO: Demande chimique en oxygène

MES: Matière en suspension

MVS: Matière volatile sèche

MM: Matière minérale

D.O: densité optique

%: pourcentage

FeCl₃ : Chlorure ferrique

FeSO₄ : Sulfate de fer

Al₂(SO₄): Sulfate d'aluminium

CaO : La chaux

n : rapport molaire

ONA : Office National d'Assainissement

Rejet A : l'eau usée

Rejet B : Rejet de l'abattoir

Rejet C : Rejet de la lessive

Rejet D : Rejet de la lessive

Introduction générale

La pollution massive introduite par la société humaine dans les eaux de surface perturbe l'équilibre naturel des écosystèmes aquatiques. La manifestation la plus visible de cette pollution est l'eutrophisation des masses fluviales, lacustres et littorales qui se traduit par un développement excessif d'algues et un appauvrissement de l'eau en oxygène avec un risque de toxicologie important pour les espèces aquatiques et l'être humain.

Le développement excessif d'algues augmente la turbidité des eaux de surface, modifie leur couleur et peut être source d'odeurs nauséabondes. Il s'opère également un appauvrissement du nombre d'espèces de poissons. L'eutrophisation nuit alors à la qualité des eaux de surface, limitant ainsi leurs usages: production d'eau potable, loisirs (pêche, baignade), activités industrielles (transport, production d'énergie électrique).

Depuis une vingtaine d'années, la lutte contre l'eutrophisation s'est concrétisée par une réduction des rejets ponctuels de phosphore, principalement d'origine domestique et industrielle.

Le traitement des rejets phosphatés fait appel à différents procédés notamment des traitements physico-chimiques et biologiques.

Le présent travail se propose d'étudier l'efficacité des traitements physico-chimiques (précipitation, coagulation-floculation) des rejets domestiques et industriels chargés en phosphate.

Pour cela ce mémoire sera articulé en trois chapitres:

- Le premier chapitre sera consacré à l'étude bibliographique.
- Le deuxième présentera la description des différentes méthodes utilisées ainsi que le matériel et les réactifs employés.
- Le troisième portera sur l'ensemble des résultats expérimentaux et leurs interprétations respectives.

Enfin, ce travail s'achèvera par une conclusion qui mettra en exergue les résultats saillants obtenus au cours de cette étude ainsi que les perspectives suggérées.

À travers les époques, la qualité de l'eau a permis d'assurer le bien-être de l'humain. De nos jours, les problèmes environnementaux sont associés à la capacité restreinte de l'écosphère d'absorber les effets de l'activité humaine.

En participant à la photosynthèse, le phosphore sous forme minérale est indispensable au développement de la vie dans les eaux. Cependant, lorsqu'il est présent en excès, cet élément provoque un déséquilibre biologique qui peut se traduire par une prolifération anarchique d'algues. On parle alors d'eutrophisation.

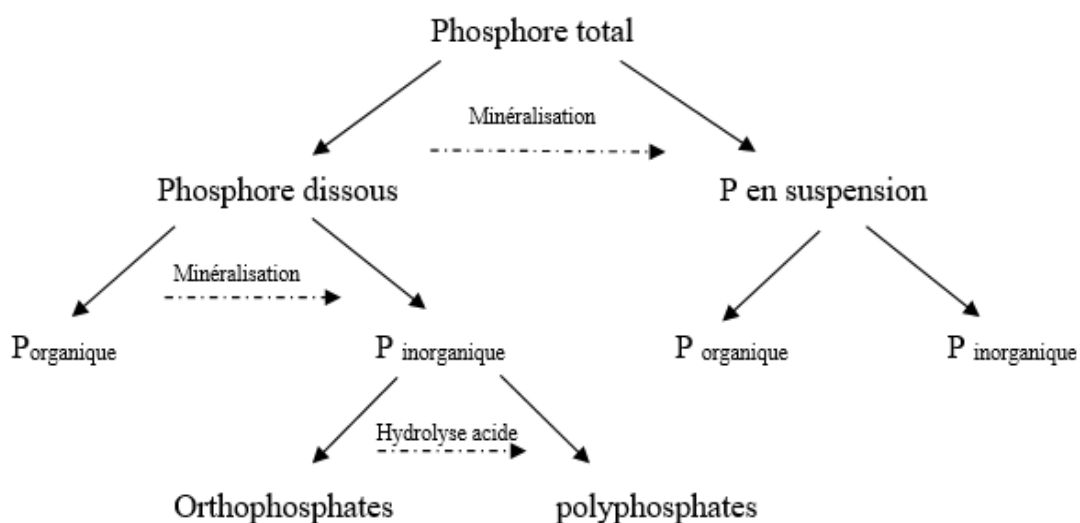
Depuis une vingtaine d'années, la lutte contre l'eutrophisation s'est concrétisée par une réduction des rejets ponctuels de phosphore, principalement d'origine domestique et industrielle.

Ce chapitre a pour objectif de présenter des généralités sur le phosphore, et l'eutrophisation et les procédés d'élimination du phosphore.

I.1.Généralités sur le phosphore

Le phosphore symbolisé par la lettre P est largement répandu dans la nature. Il est généralement lié à de l'oxygène sous forme de phosphate (PO_4^{-3}). On le trouve dans tout sol fertile et dans de nombreuses eaux naturelles.

Le phosphore est présent dans l'eau sous plusieurs formes : phosphates, phosphore organique, etc. Les orthophosphates sont la forme la plus abondante dans les eaux et proviennent en majeure partie des produits de lessive et d'excréments animaux. [1]



Sommaire

Introduction :	1
-----------------------------	---

CHAPITRE I : Recherche Bibliographique

I.1.Généralités sur le phosphore	2
I.1.1.Formes minérales oxydées du phosphore.....	3
I.1.2.Formes organiques du phosphore.....	3
I.1.3. Cycle du phosphore	3
I.2. Origine du phosphore des eaux usées	4
I.3. Rôle du phosphore dans l'eutrophisation	5
I.3.1. Causes de l'eutrophisation	5
I.3.2. Les conséquences de l'eutrophisation	5
I.3.3. Lutte contre l'eutrophisation	6
I.4. Technologies existantes pour le traitement du phosphore	8
I.4.1.Traitement biologique	8
I.4.2.Traitements physico-chimiques.....	8
I.4.2.1 Déphosphatation physico-chimique	8
I.4.2.2 Filtration membranaire	11
I.4.2.3 Adsorption	12
I.4.2.4 Échange ionique	12
I.4.3.Traitement combinaison (biologique et physico-chimique).....	13
I.5. Aspects réglementaires	14

CHAPITRE II: Matériels et Méthodes

II.1 Echantillonnage	16
II.1.1 Conservation	16
II.1.2 Caractérisation des effluents	17
II.2. Matériels utilisés :	17
II.3. Réactifs utilisés	18
II.4.Traitement proprement dit	19
II.4.1. Précipitation	19
II.4.2 Traitement des effluents chargés en phosphates	20
II.5. Coagulation-Floculation	20
II.5.1. Détermination du pH optimal	21
II.5.2. Détermination de la dose optimale du coagulant.....	21

II.5.3. Détermination de la dose optimale du flocculant	22
II.5.4 Application des conditions optimales pour le traitement des effluents	22

CHAPITRE III: Résultats et Interprétations

III.1 Traitement par précipitation chimique	23
III.1.1 Optimisation du pH:	23
III.1.2. Étude de l'influence de variation du temps de repos sur la précipitation.....	26
III.1.3. Variation de la vitesse d'agitation des quatre réactifs	27
III.1.4. Variation des rapports molaires des quatre réactifs.....	28
III.1.5 Application des conditions optimales sur des rejets réels	29
III.1.5.1 Caractérisation des rejets :	29
III.1.5.2 Interprétation des paramètres	30
III.1.5.3 Volume des boues	35
III.2 Traitement par coagulation-floculation.....	36
III.2.1 Optimisation du pH des coagulants	36
III.2.2 Détermination de la dose optimale du coagulant.....	39
III.2.3 Détermination de la dose du flocculant	41
III.2.4 Application des conditions optimales sur les rejets réels	41
III.2.4.1 Conditions opératoire optimale de la coagulation-floculation.....	42
Conclusion :	53

Liste des figures

Figure I. 1 : Cycle du phosphore.....	4
Figure II. 1: Jar test.....	17
Figure III. 1 : Solution synthétique de 20mg de P/L	23
Figure III. 2 : Variation de P/P_0 en fonction du temps d'agitation de $Al_2(SO_4)_3$ pour différents pH.....	24
Figure III. 3 : Variation de P/P_0 en fonction du temps d'agitation de $FeCl_3$ pour différents pH	24
Figure III. 4: Variation de P/P_0 en fonction du temps d'agitation de $FeSO_4$ pour différents pH	25
Figure III. 5: Variation de P/P_0 en fonction du temps d'agitation de CaO pour différents pH	26
Figure III. 6: Variation de P/P_0 en fonction du temps de repos pour les quatre réactifs .	27
Figure III. 7: Variation de P/P_0 en fonction de la vitesse d'agitation pour les quatre précipitant.....	28
Figure III. 8 : Variation de P/P_0 en fonction du rapport molaire (n) pour les quatre précipitants	28
Figure III.9: Abattement du phosphore, de la DCO et de la conductivité pour chaque précipitant du traitement des eaux usées de l'ONA	31
Figure III. 10 : La formation des floccs pendant le traitement par précipitation	32
Figure III. 11 : Abattement du phosphore, de la DCO et de la turbidité de chaque réactif du traitement des eaux d'abattoir	32
Figure III.12 : Surnageant après le traitement par précipitation des eaux d'abattoir	33
Figure III. 13 : L'abattement du phosphore, de la DCO, de la conductivité et de la turbidité de chaque réactif après traitement du rejet C (eau d'usine blanche).....	33
Figure III. 15 : Surnageant après le traitement par précipitation du rejet (sans colorant) de l'usine de la lessive	34
Figure III. 16: L'abattement de la DCO, de concentration du phosphate, de la conductivité et de la turbidité du rejet issu d'usine (Blue) de lessive.....	34
Figure III. 17 : Surnageant après le traitement par précipitation du rejet (Blue) de l'usine de la lessive	35
Figure III. 18: Variation de P/P_0 en fonction du pH cas de CaO	37
Figure III. 19 : Variation de P/P_0 en fonction du pH cas de $FeSO_4$	37
Figure III. 20 : Variation de P/P_0 en fonction du pH cas de $FeCl_3$	38
Figure III. 21 : Variation de P/P_0 en fonction du pH cas de $Al_2(SO_4)_3$	38
Figure III. 22 : Variation de P/P_0 en fonction de la dose de CaO	39
Figure III. 23 : Variation de P/P_0 en fonction de la dose de $FeSO_4$	39
Figure III. 24 : Variation de P/P_0 en fonction de la dose de $FeCl_3$	40
Figure III. 25 : Variation de P/P_0 en fonction de la dose de $Al_2(SO_4)_3$	40
Figure III. 26 : Variation de P/P_0 en fonction de la dose du flocculant pour chaque coagulant	41
Figure III. 27 : Taux d'abattement de la concentration du phosphore, de la DCO et de la turbidité pour chaque coagulant après le traitement du rejet A par coagulation-floculation (avec flocculant).....	42

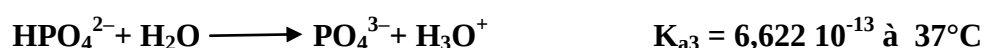
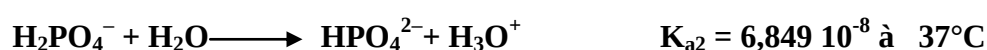
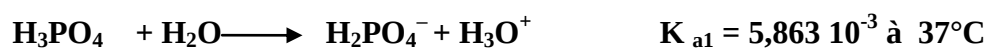
Figure III. 28 : Taux d'abattement de la concentration du phosphore, de la DCO et de la turbidité pour chaque coagulant après le traitement du rejet B par coagulation-floculation (avec flocculant).....	43
Figure III. 29 : Taux d'abattement de la concentration du phosphore, de la DCO et de la turbidité pour chaque coagulant après le traitement du rejet C par coagulation-floculation (avec flocculant).....	44
Figure III. 30 : Taux d'abattement de la concentration du phosphore, de la DCO, conductivité et de la turbidité pour chaque coagulant après le traitement du rejet D par coagulation-floculation (avec flocculant)	45
Figure III. 31 : Taux d'abattement de la concentration du phosphore, de la DCO et de la turbidité pour chaque coagulant après le traitement du rejet A par coagulation-floculation (sans flocculant).....	46
Figure III. 32 : Surnageant des eaux usées pendant la coagulation-floculation	46
Figure III. 33 : Surnageant après coagulation-floculation des eaux usées (sans flocculant).....	46
Figure III. 34 : Surnageant pendant la coagulation-floculation des eaux usées (sans flocculant)	46
Figure III. 35 : Rendement d'élimination du phosphore, DCO et turbidité après la coagulation-floculation (sans flocculant) du rejet D en fonction des coagulants	48
Figure III. 36 : Comparaison entre les taux d'abattement obtenus après traitement avec et Sans flocculant du rejet A	49
Figure III. 37 : Surnageant du rejet d'abattoir après traitement par coagulation-flocculant (sans flocculant).....	50
Figure III. 38 : Surnageant du rejet d'abattoir après traitement par coagulation-flocculant (avec flocculant).....	50
Figure III. 39 : Comparaison entre les taux d'abattement obtenus après traitement avec et sans flocculant du rejet C	50
Figure III. 40 : Comparaison entre les taux d'abattement obtenus après traitement avec et sans flocculant du rejet D.....	51
Figure III. 41 : Surnageant des rejets après traitement par coagulation-floculation	51
Figure III. 42 : Surnageant du rejet D après traitement par coagulation floculation par FeSO_4 (avec flocculant)..	52
Figure III. 43 : Surnageant du rejet D après traitement par coagulation floculation par FeSO_4 (sans flocculant)..	52

Liste des tableaux

Tableau I. 1: Tableau comparatif des avantages et des inconvénients entre les méthodes d'élimination du phosphore, par voies biologique et chimique.	13
Tableau I. 2: Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industriels dans le milieu récepteur [12]	14
Tableau I. 3 : Les valeurs de rejet des stations d'épuration des eaux usées	15
Tableau I. 4 : Contraintes de rejet supplémentaires pour les zones sensibles [13].....	15
Tableau II. 1 : Résumé des méthodes et paramètres de caractérisation des effluents.	17
Tableau III. 1 : Résumé des conditions optimales les précipitants	29
Tableau III. 2: Caractérisation des effluents	29
Tableau III. 3 : Les conditions opératoires optimales de la coagulation-floculation	42

I.1.1. Formes minérales oxydées du phosphore

Les phosphates sont les oxydes de phosphore les plus connus. Ce sont les sels de l'acide orthophosphorique H_3PO_4 . Les réactions acido-basiques suivantes représentent les neutralisations successives des différentes acidités de l'acide orthophosphorique à 37°C [2] par exemple :



Les polyphosphates sont des molécules comportant au moins deux unités phosphate. Leur formule chimique est $\text{M}_{n+2} \text{P}_n \text{O}_{3n+1}$. Le pentoxyde de phosphore (P_2O_5) est également intéressant à citer, puisque les agronomes et les laboratoires d'analyse des sols expriment souvent le résultat de la mesure de phosphore dans les boues, à partir de cet oxyde. Il se forme lorsque le phosphore brûle à l'air et il réagit très violemment avec l'eau pour donner l'acide phosphorique. [3]

I.1.2. Formes organiques du phosphore

Le phosphore est un élément nutritif indispensable, pour le monde vivant. Il intervient dans le processus de synthèse des protéines, par sa présence dans les acides nucléiques tels que l'ARN et l'ADN, et également dans le cycle de production d'énergie au sein de la cellule, par sa présence dans les molécules d'ADP et d'ATP. Chez les animaux, et en particulier dans le corps humain, on peut noter en plus la présence du phosphore dans les os, les dents, les nerfs, etc. [1]

I.1.3. Cycle du phosphore

Le cycle simplifié du phosphore dans l'environnement est représenté sur la figure 1. Cet élément se trouve dans les eaux et dans le sol sous plusieurs formes : organique dissoute, organique particulaire, minérale dissoute et minérale particulaire.

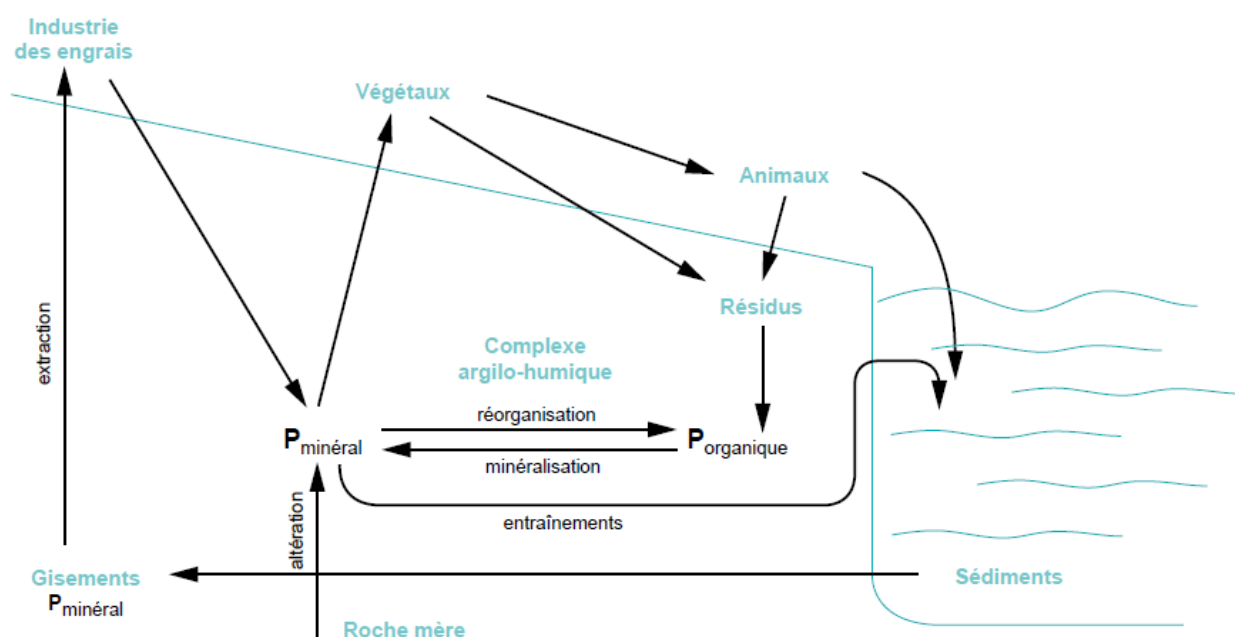


Figure I. 1 : Cycle du phosphore

I.2. Origine du phosphore des eaux usées

L'origine du phosphore dans les eaux usées est multiple, elle est déduite de la connaissance des sources de phosphore naturel et de son utilisation. Le phosphore provient :

- Du métabolisme humain : un homme excrète entre 1 à 2 grammes de phosphore par jour. Il s'agit de l'apport principal en phosphore dans les cours d'eau [3].
- Les détergents et produits d'entretien: 1 à 2 grammes de phosphore par jour et par habitation.
- Des rejets industriels : les effluents d'industries agro-alimentaires, d'abattoirs, de laveries industrielles, d'industries de traitement de surface et d'industries chimiques spécialisées. Ils véhiculent une quantité de composés phosphorés à peu près équivalente à celle des eaux usées domestiques, pour des régions relativement urbanisées.
- Les rejets agricoles ou d'origine naturelle sont retenus dans les sols et ne se retrouvent pas dans les eaux usées. Les eaux de surface peuvent éventuellement en contenir en raison, de l'érosion et du ruissellement entraînant des particules de sol dans les cours d'eau.

I.3. Rôle du phosphore dans l'eutrophisation

L'eutrophisation est définie par l'OCDE (Organisation de Coopération et de Développement Économiques) comme un « enrichissement des eaux en matières nutritives qui entraîne une série de changements symptomatiques, tels que l'accroissement de la production d'algues et de macrophytes, la dégradation de la qualité de l'eau et autres changements symptomatiques considérés comme indésirables et néfastes aux divers usages de l'eau ».

A l'origine, l'eutrophisation est un phénomène naturel amplifié par l'activité humaine en apportant de nouvelles sources de nutriments (le phosphore et l'azote).

Il est admis,[4] que l'eutrophie apparaisse dans les eaux stagnantes pour des concentrations en phosphore de l'ordre de 0,04 à 0,1 mg/l. Pour des teneurs supérieures à 0,6 mg/l, le phosphore n'est plus le facteur limitant ; il n'y a plus de proportionnalité entre la teneur en phosphore et la prolifération végétale [5].

I.3.1. Causes de l'eutrophisation

Depuis plusieurs dizaines d'années, les activités humaines (agriculture, rejets domestiques, rejets industriels) libèrent de grandes quantités d'azote et de phosphore dans le milieu naturel, provoquant une élévation importante de leurs concentrations dans les eaux continentales et marines littorales. Cette élévation de la teneur en N et P entraîne une augmentation du développement de la végétation aquatique, la température et la lumière sont alors à leurs niveaux maximaux de l'année.

La végétation concernée est composée de différentes espèces de plantes vasculaires aquatiques, de macro-algues et de micro-algues. En certains endroits, on arrive à des situations de saturation dans la croissance de ces végétaux, les conditions du milieu n'agissant plus comme facteur limitant.

I.3.2. Les conséquences de l'eutrophisation

Outre les méfaits directs du foisonnement végétal dans les eaux (turbidité, colmatage des ouvrages hydrauliques), l'eutrophisation s'avère être un précurseur de pollutions diverses: ref phosphore et l'environnement

❖ **Variations de la teneur en O₂ dissous dans les eaux entre le jour et la nuit :** La forte consommation d'oxygène durant la nuit peut aboutir à des périodes d'anoxie voire

d'anaérobiose plus ou moins longues et provoquer ainsi la mort de la faune aquatique par asphyxie.

❖ **Variations du pH de l'eau entre le jour et la nuit :** La photosynthèse s'accompagne d'une alcalinisation du milieu. En présence d'eutrophisation, le pH du milieu aquatique peut dépasser 9 en fin de journée. Or, pour des pH supérieurs à 9,3, l'azote ammoniacal se trouve principalement sous sa forme libre (NH_3) particulièrement toxique.

❖ **Dépôts de débris végétaux dans les fonds des cours d'eau** qui ont pour conséquences :

- La destruction de l'habitat naturel de la faune;
- Un appauvrissement en oxygène des fonds.

Les débris végétaux qui n'ont pas pu être minéralisés par manque d'oxygène, fermentent et provoquent le relargage d'ammoniac, d'hydrogène sulfuré et de méthane. Ces fermentations s'accompagnent d'une acidification du milieu qui entraîne la libération de métaux (fer, manganèse) liés aux sédiments.

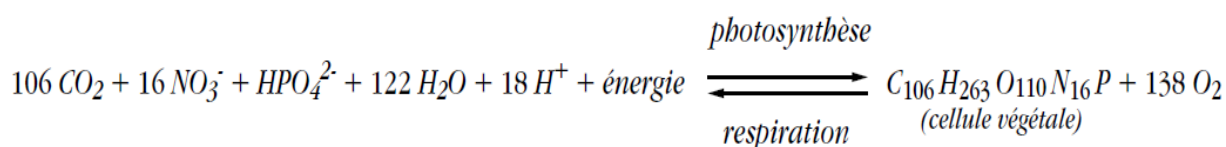
❖ **Développement des cyanophycées :** algues capables de fixer l'azote atmosphérique et sécrétant des toxines, au détriment d'autres espèces.

I.3.3. Lutte contre l'eutrophisation

L'eutrophisation est donc un problème qui touche la planète entière et la prise de conscience remonte à quelques années. Différentes techniques, basées sur le concept de facteur limitant, sont appliquées pour lutter contre l'eutrophisation, et ce soit à la source ou directement.

❖ Le facteur limitant

Le concept de facteur limitant est l'une des méthodes les plus efficaces pour limiter l'eutrophisation accélérée ; elle consiste à réduire l'apport de nutriments au plan d'eau. En effet, les besoins chimiques de la photosynthèse peuvent être représentés, de manière conceptuelle, par l'équation suivante, où les nutriments ont une place essentielle :



En théorie, il est possible d'agir sur toutes les variables de l'équation ci-dessus. Cependant, les efforts de restauration des lacs de ces dernières années ont montré, que la réduction des apports en nutriments est l'une des mesures les plus efficaces.

En limitant l'un des nutriments, on peut donc limiter le déroulement de la réaction. Par ailleurs, on présume que les taux d'absorption et d'utilisation des nutriments par les algues sont proportionnels aux teneurs de ces éléments dans leur cytoplasme. Ainsi, l'analyse de la matière organique d'un échantillon d'eau de mer a montré le contenu cellulaire suivant : 106C : 16N : 1P. Pour l'eau douce, le rapport est de 40C : 7N : 1P. Ce rapport est une référence de base. Il sert à déterminer l'élément limitant d'un plan d'eau. De plus, Si le rapport de masse entre N et P : N/P est supérieur à 7, le phosphore est l'élément limitant en nutriment. Ces conditions sont trouvées généralement dans l'eau douce. [14]

En général, le carbone organique n'est pas le facteur limitant, à moins de conditions spécifiques, et si c'est le cas, les effets consisteront uniquement en une diminution de la biodiversité. De plus, le phosphore est l'élément le plus facile à contrôler, puisqu'il est principalement issu des eaux usées domestiques, qui sont facilement traitables.

❖ Moyens préventifs

- Réduire les apports d'origine domestique ;
- Diminuer l'utilisation de polluants eutrophisants dès l'amont du bassin versant ;
- Diminuer l'utilisation de pesticides et leur arrivée dans les cours d'eau ou, en tuant de nombreux organismes ceci peuvent contribuer à l'eutrophisation ;
- Utiliser rationnellement les engrais en agriculture (analyser la valeur agronomique des sols et privilégier les engrais naturels) ;
- Aménager des bassins versants reconstituants des réseaux de blocage, talus, haies, et bandes enherbées, suffisants en taille et cohérents avec le relief et la pédologie. Le ruissellement des eaux pluviales peut favoriser l'entraînement de nutriments comme le phosphore, qui seront mieux retenus si les capacités d'infiltration du sol sont restaurées ;
- Remplacer les phosphates des lessives par des agents anticalcaires sans impact sur l'environnement, tels les zéolites. ;
- Mieux éliminer l'azote et le phosphore dans des stations d'épurations (qui peuvent être équipées de procédés de dénitrification et de déphosphatation) ;

I.4. Technologies existantes pour le traitement du phosphore

Afin de réduire les rejets phosphorés d'origine domestique dans les eaux naturelles, des procédés de déphosphatation ont été développés depuis les années 1980. On distingue les procédés biologiques et les procédés physico-chimiques.

I.4.1. Traitement biologique

Le traitement biologique se fait sans ajout de réactifs chimiques. Il consiste en général en l'assimilation du phosphore par les microorganismes pour leurs besoins métaboliques minimaux, et d'autre part la suraccumulation du phosphore par des bactéries déphosphatantes au-delà de leurs besoins métaboliques. Par convention, le traitement biologique du phosphore est une suraccumulation du phosphore.

I.4.2. Traitements physico-chimiques

La filière de traitement du phosphore par voie physico-chimique consiste à transformer le phosphore dissous en espèces insolubles (précipitation, coagulation-floculation) dite déphosphatation physico-chimique, ou à le retenir sur une matrice solide (membrane, échangeur d'ions (résines) et adsorbant).

I.4.2.1 Déphosphatation physico-chimique

La déphosphatation physico-chimique vise la transformation sous la forme particulière d'une quantité suffisante d'orthophosphate après liaison chimique avec un sel de métal (précipitation). Les précipitants les plus courants sont les sels de fer, les sels d'aluminium et la chaux qui est efficace par sa composition en calcium [6]. Ces mêmes sels (coagulants) peuvent neutraliser des charges répulsives des particules pour favoriser la floculation et la sédimentation (cas de coagulation-floculation). De plus, diverses réactions compétitives favorisent aussi la formation de solides et de floc. Une fois la formation suffisante de floc, la séparation « solide-liquide » est réalisée par décantation et/ou par filtration. L'ajout de coagulant engendre toutefois des effets secondaires dont il faut tenir compte, comme une variation du niveau de pH et l'accroissement du volume de boues (résidus) produit.

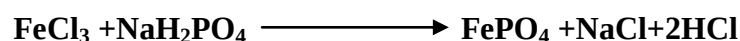
La floculation est assurée par l'ajout de polymères (exemple alginate). Ce sont des molécules à longue chaîne carbonée qui piègent les particules et qui, par des mécanismes successifs d'adsorption et de réticulation forment des floccs solides. Le choix d'un polymère se fera non seulement d'après la nature de l'effluent mais aussi d'après la technique avale de séparation de phase qui nécessite, pour être optimale, des conditions précises de viscosité, de résistance mécanique et de taille des floccs.

I.4.2.1.1 Réactifs utilisés pour le déphosphatation physico-chimique

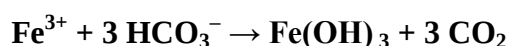
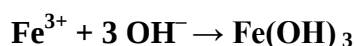
a) Réactifs à base de fer

❖ Chlorure ferrique

Le chlorure ferrique (FeCl_3) est un des réactifs les plus utilisés du fait de son coût plus faible que les autres molécules de fer ou d'aluminium et de son utilisation plus simple que pour la chaux, dont la complexation et la précipitation dépendent du pH. La réaction dominante qui s'établie entre les ions ferriques et les ions phosphates est la suivante :



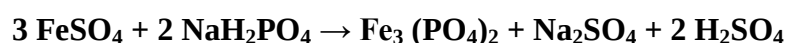
En plus du complexe fer/phosphore attendu, se forment des molécules de chlorure de sodium et d'acide chlorhydrique qui baissent le pH entre 5 et 6. Ce pH permet la bonne précipitation du complexe et donc sa décantation avec les floccs biologiques au niveau du clarificateur. Toutefois, il est nécessaire de surveiller cette grandeur car l'effluent rejeté ne doit pas être trop acide par rapport au milieu récepteur. Les ions ferriques se complexent avec les ions hydroxydes et bicarbonates de l'effluent pour former des complexes d'hydroxydes ferriques qui précipitent et décantent également avec les boues biologiques [3].



❖ Sulfate ferreux

Le sulfate ferreux (FeSO_4) est un réactif très peu utilisé. Il est proposé, selon les distributeurs, soit sous forme liquide (le Fer représente en poids 12,5 %), soit sous forme de poudre. Lorsque l'ajout du sulfate ferreux a lieu dans le bassin d'aération, cas de loin le plus fréquent, les ions ferreux sont oxydés en ions ferriques très rapidement. [3]

Les ions ferreux donnent lieu à la formation du précipité $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ (ou vivianite) selon la réaction suivante :

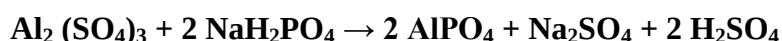


b) Réactifs à base d'aluminium

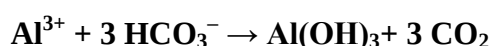
L'ion aluminium utilisé pour la précipitation du phosphore est combiné avec les ions sulfates, sodium, chlorure ou hydroxyde au sein des réactifs comme le sulfate d'aluminium ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), l'aluminate de sodium ($\text{Na}_2\text{OAl}_2\text{O}_3$), les polychlorures d'aluminium ($\text{Al}(\text{OH})_x\text{Cl}_y$), les polymères d'aluminium et les polyhydrochlorures mixtes d'aluminium et de fer.[3]

❖ Le sulfate d'aluminium

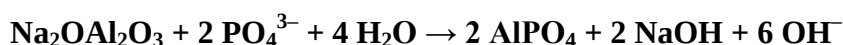
La réaction chimique dominante entre les ions aluminium et les phosphates est :



La solubilité du précipité obtenu, AlPO_4 (variscite) est fonction du pH. L'efficacité optimale du traitement chimique se situe pour des pH compris entre 5,5 et 6,5. Les ions aluminium ajoutés précipitent en parallèle avec les ions hydroxydes et les ions carbonates de l'eau, pour former des précipités d'hydroxyde d'aluminium. [3]

**❖ L'aluminate de sodium**

La réaction de précipitation des phosphates s'écrit comme suit :



Elle montre que l'utilisation de l'aluminate de sodium augmente le pH par la présence de NaOH . On observe également des précipitations parallèles qui induisent la formation d'hydroxydes d'aluminium.

c) Réactif à base de calcium

On citera l'utilisation dans de très rares cas, de la chaux seule (CaO) comme réactif de précipitation du phosphore. L'addition de chaux dans une eau résiduaire précipite les orthophosphates, principalement sous forme d'hydroxyapatite $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ dont le rapport molaire théorique Ca/P est 1,67.



La solubilité de l'hydroxyapatite diminue avec l'augmentation du pH et par conséquent l'élimination du phosphore croît avec le pH. À pH supérieur à 9,5, l'essentiel de l'hydroxyapatite est insoluble. [3]

I.4.2.1.2 Mise en œuvre des procédés sur une filière classique de traitement des eaux:

La précipitation du phosphore par ajout de sels de métaux peut se faire au niveau du traitement primaire (pré-précipitation), dans le bassin d'aération (précipitation simultanée) ou après la clarification (post précipitation). Chacune de ces trois options possèdent ses avantages et ses inconvénients.

❖ Pré-précipitation:

Dans ce cas, la précipitation du phosphore s'accompagne d'une élimination non négligeable par coagulation de matière organique. Le traitement biologique qui suit est donc soulagé. Par contre, comme le phosphore organique n'a pas été oxydé en phosphates dans le réacteur biologique, il n'est que peu éliminé par ce traitement. De plus, les colloïdes et autres espèces ioniques présents dans les eaux brutes consomment du réactif qui doit donc être introduit en excès par rapport au P pour en assurer une élimination correcte. Les volumes de boues sont de 50 à 100 % plus importants, voire de 100 à 200 % avec la chaux, que les volumes produits sans ajout de réactif. [7]

❖ Précipitation simultanée

C'est l'option la plus employée en France. Elle nécessite moins de réactif et produit moins de boues qu'en pré-traitement et elle permet d'éliminer le phosphore organique oxydé en phosphates dans le réacteur biologique. De plus, elle s'intègre facilement dans une filière de traitement en fonctionnement. Le réactif est préférentiellement ajouté en aval du réacteur ce qui permet d'en réduire l'apport. L'augmentation des volumes de boues est comprise entre 40 et 65% par rapport à une aération sans ajout de réactifs. [7]

❖ Précipitation en post-traitement

Cette option permet une très bonne élimination du phosphore avec ajout de faibles quantités de réactif. La déshydratation des boues minérales obtenues est aisée. Cependant, cette solution nécessite des investissements lourds. Les performances de quelques stations équipées de traitement chimique du phosphore (sels de fer) aux Etats-Unis sont rapportées par Copper et al. (1994). Dans tous les cas, les rendements sont supérieurs à 80%. [7]

I.4.2.2 Filtration membranaire

Les procédés membranaires consistent en un transfert de soluté d'une solution diluée vers une solution concentrée à travers une paroi microporeuse sous l'action d'un gradient de pression. Les types de membranes permettant d'enlever la plupart des polluants ioniques des eaux usées sont l'osmose inverse ou la nanofiltration. [8]

En traitement des eaux usées, les membranes selon leurs caractéristiques, peuvent être utilisées pour éliminer des molécules très diverses. Le phosphore, notamment sous forme de sels de phosphate peut être ainsi facilement concentré par osmose inverse. Les techniques membranaires sont généralement utilisées comme traitement de finition. [8]

I.4.2.3 Adsorption

L'adsorption est un phénomène mettant en jeu l'affinité des surfaces d'un absorbant solide sur lequel vient se fixer, selon divers processus, un adsorbat, soit des ions, des molécules de gaz, des polymères, des micro-organismes, etc. présents dans un liquide. [9] Les matériaux utilisés sont soit naturels ou synthétiques, mais traditionnellement, le charbon actif est utilisé ainsi que les zéolithes. Pour un pH neutre, comme dans les eaux usées, les espèces prédominantes du phosphore sont les orthophosphates et ceux-ci présentent une forte interaction de ligand avec des métaux oxydés, dont le fer, le titane et zirconium.

Wahab et al. (2011) ont affirmé que, pour une température de 20°C, la capacité d'adsorption maximum en orthophosphate avec de la fibre de Posidonie de Méditerranée (*Posidonia oceanica*) était de 7,45 mg.g⁻¹ dans la plage de concentration d'orthophosphates de 15 à 100mg.L⁻¹, à pH 7 et à un dosage d'adsorbant de 2g.L⁻¹. Des résultats d'enlèvement de 88,6% en phosphate ont été obtenus en 20 minutes pour une concentration de 100 ppm. [10]

I.4.2.4 Échange ionique

L'échange ionique est un procédé dans lequel les ions sont éliminés par transfert d'ions sur un matériau solide pour être remplacés par une quantité équivalente d'autres ions de même charge émis par le solide. Par exemple, certaines résines dont les contre-ions de ces groupements anioniques (par exemple des ions chlorures, bicarbonates ou d'hydroxydes) sont échangées aux ions phosphates en solution, jusqu'à saturation de la résine. La résine saturée est ensuite régénérée par passage d'une solution concentrée de chlorure de sodium, de bicarbonate de sodium ou d'hydroxyde de sodium. Cette méthode est simple et efficace, mais les principaux problèmes sont que la résine échangeuse d'ions est encore assez chère en fonction des applications. Elle peut aussi augmenter la présence de chlorure dans l'eau résiduelle dans certains cas. [11]

Une comparaison entre les traitements physico-chimiques et les traitements biologiques du phosphore, est représentée dans le tableau ci-dessous. [2]

Tableau I. 1: Tableau comparatif des avantages et des inconvénients entre les méthodes d'élimination du phosphore, par voies biologique et chimique.

	Voie biologique	Voie physico-chimique
Elimination du phosphore	Rendement instable : 50-70%	Potentiellement très poussé
Equipement nécessaire	Bassin d'anaérobiose équipé	Système d'injection et de stockage des réactifs
Coûts de fonctionnement	Faible	Plus élevé
Production supplémentaire de boues	Négligeable	20 % environ
Qualité de la boue	Inchangée	Meilleure décantabilité
Impact sur le traitement des boues	Epaississement par voie mécanique obligatoire	Aucun
Impact de la composition de l'effluent sur le rendement	Fort	Faible

Il est à relever, que les traitements physico-chimiques de gestion simple sont coûteux en réactifs chimiques et présentent le désavantage de produire des volumes importants de boues et la conduite des procédés biologiques est délicate. Ils nécessitent des investissements importants (génie civil), mais une fois en œuvre, ils permettent une bonne élimination du phosphore, pouvant être couplée à une élimination de l'azote, à des coûts de fonctionnement peu élevés.

I.4.3.Traitement combinaison (biologique et physico-chimique)

Il existe des stations qui utilisent une combinaison de la voie biologique et de la voie physico-chimique. Ceci permet de cumuler à la fois les avantages des deux méthodes.[3]

Ces procédés ayant un effet uniquement sur les phosphates dissous, n'éliminent donc pas la forme particulaire. Ce type de phosphore est lié aux matières en suspension (particules de matières organiques) des eaux à traiter et peut représenter entre 4 et 5 % de MES de sortie. Pour les zones sensibles, la déphosphatation des eaux usées doit être la plus poussée possible. Dans ce cas, il est possible d'ajouter d'autres filières d'élimination capables d'éliminer le phosphore particulaire. Les traitements tertiaires ainsi utilisés sont les filtres à sable qui retiennent les MES ou bien la décantation à grande vitesse avec ajout de flocculant. La séparation par membrane est également possible, permettant en une étape

d'éliminer MES et boues, toutefois cette technique reste très couteuse par rapport aux deux précédentes. [3]

I.5. Aspects réglementaires

En Algérie

Le Décret exécutif n° 93-160 du 10 Juillet 1993, du Journal Officiel de la République Algérienne réglementant les rejets d'effluents liquides, définit un rejet comme tout déversement, écoulement, jets, dépôts directs ou indirects d'effluents liquides dans le milieu naturel. [12] Ces mêmes données viennent d'être renforcées par un nouveau texte réglementaire; le Décret Exécutif n° 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 Avril 2006.

Tableau I. 2: Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industriels dans le milieu récepteur [12]

Paramètres	Unité	Valeurs limites
Température	°C	30
PH	-	6,5 à 8,5
MES	mg/L	35
Azote Kjeldahl	mg/L	30
Phosphore total	mg/L	10
DCO	mg/L	120
DBO5	mg/L	35

Au niveau Européen

La gestion de l'eau est régie par une loi introduite en 2000 : la Directive Cadre sur l'Eau (DCE). C'est à partir des années 70, que l'Europe a établi une politique publique de gestion de l'eau. La DCE vise à donner une cohérence à l'ensemble de la législation. Elle définit un cadre pour la gestion et la protection des eaux par grands bassins hydrographiques au plan européen avec une perspective de développement durable.

La législation, a mis en place une Directive Européenne. Dans le but de limiter le phénomène d'eutrophisation, de plus en plus important dans les cours d'eaux en Europe durant les années 80.

La directive sur les eaux résiduaires urbaines (DERU) impose des normes de collectes et de traitement des eaux usées. Les exigences requises sont donc classées selon la directive n° 91/271/CEE du 21 mai 1991. Ces obligations ont été transcrites en droit français par la loi n° 92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau, le décret n° 94-469 du 3 juin 1994 relatif à la collecte et au traitement des eaux usées et l'arrêté du 22 juin 2007 relatif à la

collecte, au transport et au traitement des eaux usées des agglomérations d'assainissement. [13]. Les valeurs de rejets sont représentées dans les tableaux ci-dessous:

Tableau I. 3 : Les valeurs de rejet des stations d'épuration des eaux usées

Paramètres	Concentration maximale à ne pas dépasser	Rendement minimum à atteindre
DBO₅	25mg/L	70-80 %
DCO	125mg/L	75%
MES	35mg/L	90%

Tableau I. 4 : Contraintes de rejet supplémentaires pour les zones sensibles [13]

Rejet en zone sensible à l'eutrophisation	Paramètres	Charge brute de pollution organique reçue (en Kg DBO ₅ /j)	Concentration maximale à ne pas dépasser
Azote	NGL*	[600-6000]	15mg/L
		>6000	10mg/L
Phosphore	P	[600-6000]	2mg/L
		>6000	1mg/L

*Azote NGL = N organique (urée...) + N ammoniacal (N-NH₄) + N oxydé (NO₃⁻, NO₂⁻).

Afin de tester l'efficacité des procédés physico-chimiques qui peuvent effectivement apporter une solution à la problématique du traitement des eaux chargées en phosphates, notre travail va s'articuler de la façon suivante :

Dans un premier temps, il s'agira de chercher les conditions optimales pour le traitement physico-chimique, en appliquant deux procédés à savoir la précipitation chimique et la coagulation-floculation sur une eau synthétique préparée au laboratoire à une concentration connue du phosphore.

Une fois que les conditions du traitement seront optimisées, les procédés seront appliqués sur 4 rejets réels. L'efficacité de ce traitement sera estimée essentiellement par le suivi de la concentration résiduelle du phosphore, l'abattement de la DCO, le rendement d'élimination de la turbidité et de la conductivité.

L'objectif de ce chapitre est de présenter le matériel et les méthodes utilisés au cours de cette étude.

II.1 Echantillonnage

Une fois qu'on a trouvé les conditions opératoires optimales du traitement physico-chimique sur l'eau synthétique, nous les avons appliquées sur 4 différents rejets réels qui sont :

- L'eau usée de l'ONA de TIZI OUZOU (Rejet A)
- L'eau issue d'un abattoir de Boudouaou (Rejet B)
- Le rejet de l'usine de la lessive de Tiplakine (Groupe OSMOSE):
 - Rejet C (sans colorant) de Couleur blanche;
 - Rejet D (avec colorant) de Couleur bleue.

II.1.1 Conservation

Les rejets ont été conservés dans le réfrigérateur à une température de 4 °C.

II.1.2 Caractérisation des effluents

Les méthodes et les normes utilisées dans cette étude sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau II. 1 : Résumé des méthodes et paramètres de caractérisation des effluents.

Paramètres	Méthodes	Norme
Température	Mesure directe avec le thermomètre	–
pH	Mesure directe avec le pH mètre	NET 90-008
Conductivité	Mesure directe avec le conductimètre	NET 90-008
Turbidité	Mesure directe avec le turbidimètre	-
DCO	Oxydation par bichromate+ spectrométrie	MA. 315-DCO
Orthophosphates	Spectrométrie	NFT90-023
MES/MVS	Par différence des pesées	NFT 90-015
Nitrates	Spectrométrie	ISO 8790-3-1988
Nitrites	Spectrométrie	ISO 6777-1984
Chlorures	Titration (Méthode de MOHR)	NF T 90 014

II.2. Matériels utilisés :

Lors des essais de coagulation-floculation et de précipitation chimique, nous avons utilisé un jar test à quatre postes comme le montre la figure suivante.



Figure II. 1: Jar test

- Spectrophotomètre;
- pH mètre;
- Plaque d'agitation;
- Centrifugeuse;
- Bloc chauffant ;
- Etuve;
- Four à moufle;
- Balance analytique;
- Verrerie courante du laboratoire;
- Réfrigérateur;

II.3. Réactifs utilisés

- Acide sulfurique (H_2SO_4) 5N
- Hydroxyde de sodium (NaOH) 5N
- Acide ascorbique à (50g/L)
- Tartrate de potassium et d'Antimoine
- Paramolybdate d'ammonium (2,8 g/L)
- Réactif combiné :

Dans une fiole jaugée de 100 ml, mélanger :

- 50 ml d'acide sulfurique ;
- 5 ml de la solution tartrate ;
- 15 ml de la solution de Paramolybdate de NH_4^+ ;
- Compléter au volume (20 ml) avec de l'eau distillée.

Ce réactif peut être conservé à 4 °C.

- Les réactifs utilisés sont les mêmes pour la précipitation et la coagulation :
 - La chaux (CaO);
 - Chlorure ferrique ($\text{FeCl}_3, 6\text{H}_2\text{O}$);
 - Sulfate ferreux Hydraté (FeSO_4 ;
 - Sulfate d'aluminium ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$);
- Flocculant organique naturel : Alginate de sodium (SIGMA).

II.4.Traitement proprement dit

II.4.1. Précipitation

Lors des expériences du traitement par précipitation, nous avons suivi le même protocole expérimental pour chaque précipitant utilisé. Avant de passer au traitement de nos effluents, nous avons cherché les conditions opératoires de chaque précipitant sur une solution synthétique de 20 g/L du phosphore.

a. Détermination du pH et du temps d'agitation optimaux

Nous avons réalisé les mêmes expériences pour chaque précipitant en appliquant une différence dans les gammes de pH.

Dans une série de bécher (Jar test)

- Introduire 1000 ml de la solution de phosphates (20 mg de P/L)
- Ajuster le pH à :
 - ❖ 5 ; 5,5 et 6 cas de Al_2SO_4
 - ❖ 4,5 ; 5 ; 5,5 et 6 cas de $\text{FeCl}_3, 6\text{H}_2\text{O}$
 - ❖ 4,5 ; 5 ; 5,5 ; 6 ; 6,5 ; 7 et 7,5 cas de FeSO_4
 - ❖ 6,5 ; 7 ; 7,5 ; 8 ; 8,5 ; 9 et 9,5 cas de CaO
- Mettre les bâteaux au jar test et régler sa vitesse à 70 tr/min
- Ajouter la même masse dans les quatre bécher (pour un rapport molaire de $n=1$) pour chaque précipitant, au même temps et laisser chaque bâteau agiter pendant 30 minutes.
- Prélever toutes les cinq minutes, un volume de 1ml du surnageant sur lequel le dosage des phosphates sera effectué.

b. Détermination du temps de repos optimal

Une fois que nous avons fixé le pH et le temps d'agitation, nous étudions l'influence de la variation du temps de repos, pour chaque précipitant.

Dans une série de bâteaux :

- ✓ Introduire 1000 ml de solution contenant 20 mg de P/L
- ✓ Ajouter la masse nécessaire de chaque précipitant pour avoir un rapport molaire de $n=1$ dans chaque bâteau.
- ✓ Laisser agiter, au temps adéquat fixé précédemment de chaque précipitant, à une vitesse de 70 tr/min.
- ✓ Arrêter l'agitation et prélever 1 ml du surnageant de chaque bâteau après 0 ; 10 ; 20 ; 30 minutes de temps de repos, et effectuer le dosage des phosphates.

c. Détermination de la vitesse optimale

Une fois que le pH, le temps d'agitation et le temps de repos sont optimisés, nous étudions l'influence de la variation de la vitesse d'agitation, pour chaque précipitant.

Dans une série de béchers :

- ✓ Introduire 1000 ml de solution contenant 20 mg de P/l, ajouter la masse nécessaire de chaque réactif et varier la vitesse d'agitation à 70 ; 120,150 et 180 tr/min.
- ✓ Prélever 1 ml du surnageant de chaque bécher après le temps de repos nécessaire de chaque réactif et effectuer le dosage des phosphates.

d. Détermination du rapport molaire

Pour chaque précipitant, après avoir fixé le pH, le temps d'agitation, le temps de repos et la vitesse d'agitation, nous avons étudié selon la même procédure que précédemment, l'influence de la variation du rapport molaire, en faisant varier ce dernier de 1 à 7 pour chaque réactif.

II.4.2 Traitement des effluents chargés en phosphates

Une fois que nous avons déterminé les conditions opératoires optimales de chaque précipitant, nous les avons appliquées au traitement des quatre rejets chargés en phosphates en suivant le même protocole. Au cours de ce traitement nous avons suivi plusieurs paramètres dont les phosphates, la conductivité, la turbidité et la DCO.

II.5. Coagulation-Floculation

Lors des essais de coagulation-floculation, nous avons utilisé quatre coagulants ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, FeSO_4 et CaO) et l'alginate comme floculant dans le but de déterminer les conditions optimales permettant un meilleur abattement de la pollution. Ainsi au cours de ces manipulations seront déterminés:

- ❖ Le taux de traitement pour chaque réactif ;
- ❖ Le pH optimal ;
- ❖ L'efficacité des coagulants;
- ❖ Le rôle du floculant.

L'efficacité du traitement sera estimée en suivant la concentration des phosphates après 20 min de décantation.

Nous avons suivi le même protocole expérimental pour tous les coagulants utilisés. Nous avons cherché les conditions optimales de la coagulation-floculation sur une solution synthétique de 60 mg de P/L. Une fois les conditions optimisées, nous les avons appliquées pour le traitement des 4 rejets. Lors de ce traitement nous avons suivi plusieurs paramètres dont ; le phosphore, la turbidité, la conductivité et la DCO.

II.5.1. Détermination du pH optimal

Dans une série de béchers (Jar test)

- Introduire 1000 ml d'eau contenant des phosphates (60 mg de P/L).
- Ajuster le pH à :
 - 5 ; 5,5 ; 6 et 6,5 cas de: Al_2SO_4 , $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ et FeSO_4 .
 - 8 ; 8,5 ; 9 et 9,5 cas de CaO .

Tout en fixant la dose des coagulants à :

- 0,3g/L pour Al_2SO_4
- 0,5 g/L pour $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
- 1g/L pour FeSO_4
- 0,2g/L pour CaO
- Ajouter alors la dose du coagulant.
- Agiter rapidement (120 tr/min) pendant 30 secondes
- Réduire l'agitation à 40 tr/min, et laisser le mélange sous agitation lente pendant 20 min.
- Arrêter l'agitation et laisser le mélange reposer pendant 20 min.
- Prélever un volume de 50ml du surnageant sur lequel le dosage des phosphates sera effectué.

II.5.2. Détermination de la dose optimale du coagulant

Pour la détermination de la dose optimale de chaque coagulant nous avons suivi le même protocole expérimental utilisé précédemment, en fixant le pH optimal pour chaque coagulant et en variant les doses des coagulants dans chaque bécher comme suit:

- Pour $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (0,3; 0,6; 0,9; 1,2 et 1,5 g/L)
- Pour $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (0,5; 1; 1,5; 2 et 5,5 g/L)
- Pour FeSO_4 (1; 2; 3; 4 et 5 g/L)
- Pour CaO (0,2; 0,4; 0,6 et 0,8 g/L).

II.5.3. Détermination de la dose optimale du flocculant

Une fois que le pH et la dose du coagulant ont été fixés, nous avons déterminé la dose optimale du flocculant, en procédant comme suit :

- ✓ Ajouter pendant l'étape de floculation (2 min après la réduction de la vitesse d'agitation de 120 à 40 tr/min), les doses croissantes (10, 20, 30 et 40 mg/L) du flocculant (alginate) et suivre le même protocole que la coagulation.
- ✓ Prélever un volume de 50 ml du surnageant sur lequel le dosage des phosphates sera effectué.

II.5.4 Application des conditions optimales pour le traitement des effluents

Après avoir optimisé les conditions opératoires des coagulants sur la solution synthétique, nous passons au traitement des trois différents rejets chargés en phosphates et ce en suivant plusieurs paramètres dont les phosphates, la turbidité, la DCO et la conductivité.

Rappelons que la présente étude a pour objectif la déphosphatation des effluents chargés en phosphate par deux procédés physico-chimiques; précipitation chimique et coagulation-floculation en utilisant des réactifs différents. Pour se faire nous avons optimisé les conditions opératoires de la déphosphatation sur une des solutions synthétiques préparées au laboratoire.

Une fois les conditions du traitement optimisées, les procédés seront appliqués sur des rejets domestiques et industriels. L'efficacité de ce traitement sera estimée essentiellement par le suivi de la concentration résiduelle du phosphore.

III.1 Traitement par précipitation chimique

Afin d'optimiser les conditions opératoires de la précipitation chimique, nous avons effectué plusieurs essais sur des solutions synthétiques de 20 mg de P/L.

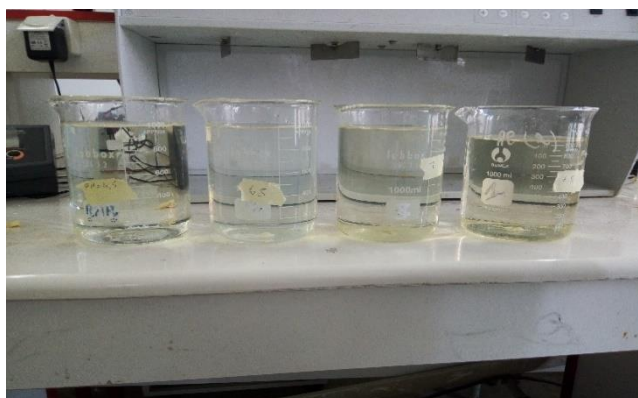


Figure III. 1 : Solution synthétique de 20mg de P/L

Les conditions opératoires (pH, temps d'agitation, temps de repos, vitesse d'agitation et le rapport molaire de chaque précipitant) seront optimisées par la méthode intuitive.

III.1.1 Optimisation du pH:

Tout réactif (précipitant) a un pH optimal où les orthophosphates forment un composé peu soluble dans l'eau. Pour cela nous avons varié le pH de chaque précipitant tout en fixant le rapport molaire à $n = (nM/nP) = 1$ pour tous les précipitants et la vitesse d'agitation à 70tr/min.

❖ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

Nous avons varié le pH de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ entre 5 et 6. Le graphe ci-dessous illustre les résultats obtenus.

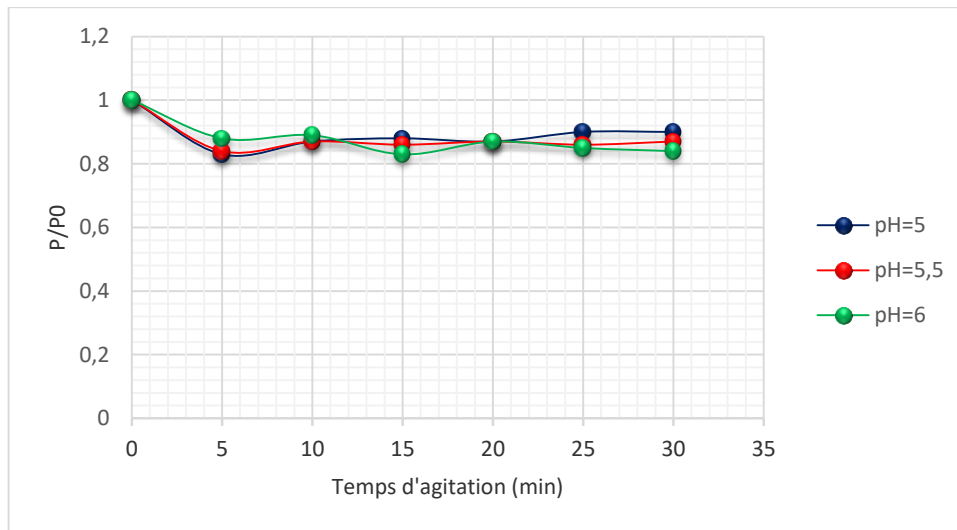


Figure III. 2 : Variation de P/P_0 en fonction du temps d'agitation de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ pour différents pH

La figure III.2 représente la variation de P/P_0 en fonction du temps d'agitation. D'après ce graphe, on remarque une diminution de P/P_0 jusqu'à atteindre une valeur de 0,84. Soit un abattement de 16% à pH de 5,5 sous l'agitation pendant 5 min, ce qui confirme que l'efficacité de précipitation par $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ est pour un pH de 5.5 [3].

❖ FeCl_3

Pour FeCl_3 nous avons varié le pH entre 4,5 et 6 et le graphe ci-dessous montre les résultats obtenus :

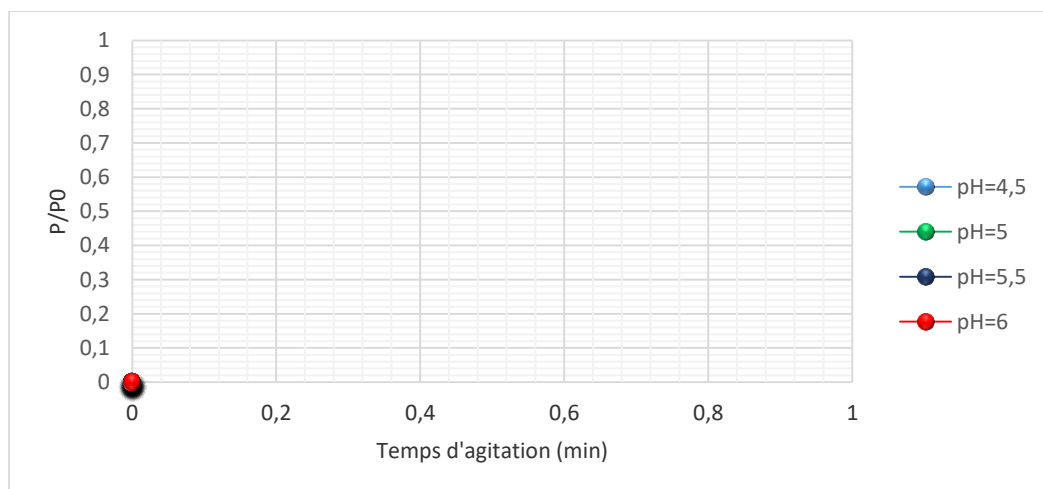


Figure III. 3 : Variation de P/P_0 en fonction du temps d'agitation de FeCl_3 pour différents pH

La figure III.3 représente l'évolution de P/P_0 en fonction et du temps d'agitation. D'après cette figure, nous remarquons une légère diminution de P/P_0 à 0,9, soit un abattement de 10 % à pH optimal de 5 ; ce qui est expliqué par le fait que les phosphates de fer se forment et sont peu solubles à ce pH. Ce constat concorde avec les données du document de la FNDAE (Fond National pour de Développement des Adductions d'eau) [3].

❖ FeSO_4

Pour FeSO_4 , nous avons varié le pH entre 4,5 et 7,5. Les résultats sont représentés dans le graphe ci-dessous :

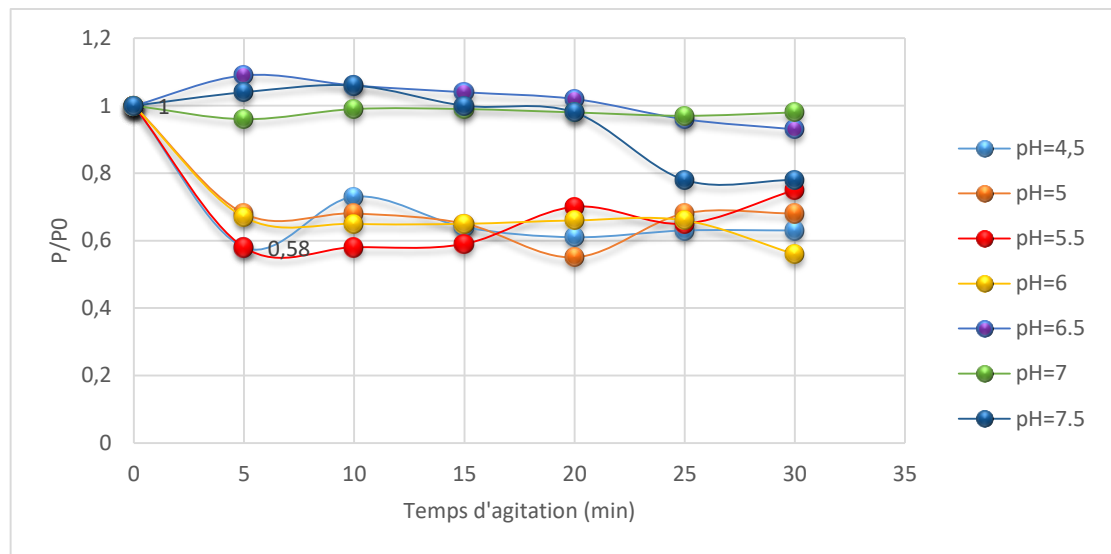


Figure III. 4: Variation de P/P_0 en fonction du temps d'agitation de FeSO_4 pour différents pH

La figure III.4 montre l'évolution de P/P_0 en fonction du temps d'agitation pour différents pH. Nous constatons que la valeur minimale de P/P_0 est de 0,58 avec un rendement d'élimination du phosphore de 42 % au pH 5,5 et à 10 min d'agitation. Cette amélioration dans l'abattement de concentration du phosphore avec FeSO_4 , est due selon FNDAE) [a] au fait que ce pH entre dans la gamme des pH qui favorise la précipitation des phosphates de fer peu solubles entre 5 et 6.

❖ CaO

Nous avons varié le pH de CaO entre 6 et 9,5. Le graphe ci-dessous présente les résultats obtenus :

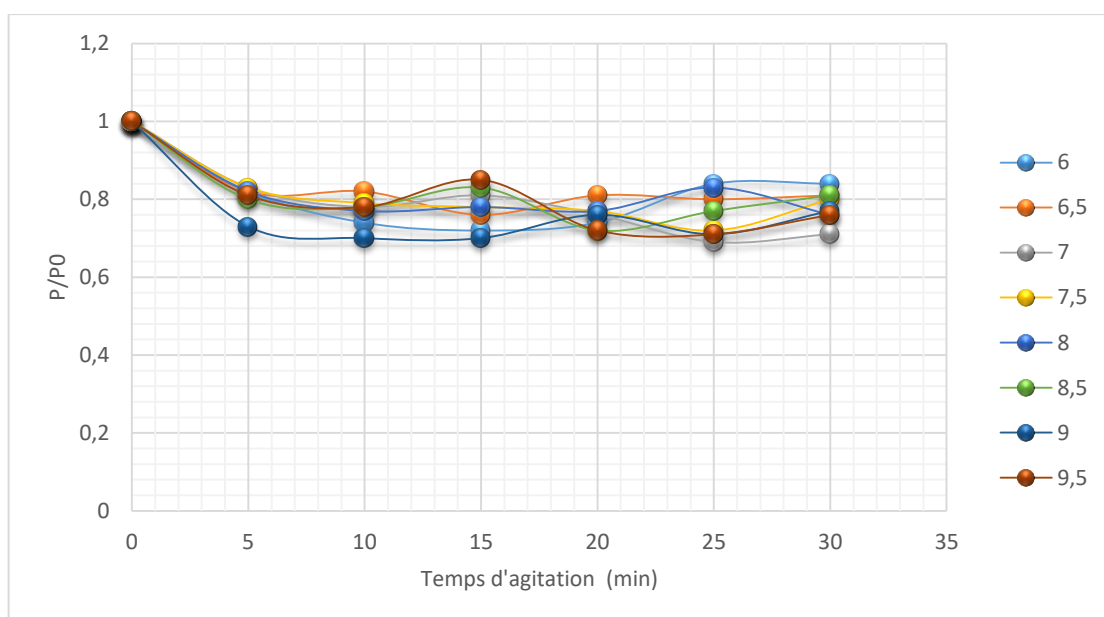


Figure III. 5: Variation de P/P_0 en fonction du temps d'agitation de CaO pour différents pH

La figure III.5 retrace la variation de P/P_0 en fonction du temps d'agitation pour différents pH. Ce tracé montre que la valeur minimum de P/P_0 est de 0,73 avec un rendement d'élimination du phosphore de 27 % au pH optimal de 9 à 5 min d'agitation. Ce constat s'explique par la formation d'hydroxyapatite $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ qui est insoluble à des pH basiques avoisinant pH 9 [3].

III.1.2. Étude de l'influence de variation du temps de repos sur la précipitation

Après avoir fixé le pH au pH optimal et le temps d'agitation au temps optimal pour chaque précipitant, nous étudions l'influence de la variation du temps de repos sur l'abattement de concentration du phosphore. Les résultats obtenus sont regroupés dans la figure ci-dessous :

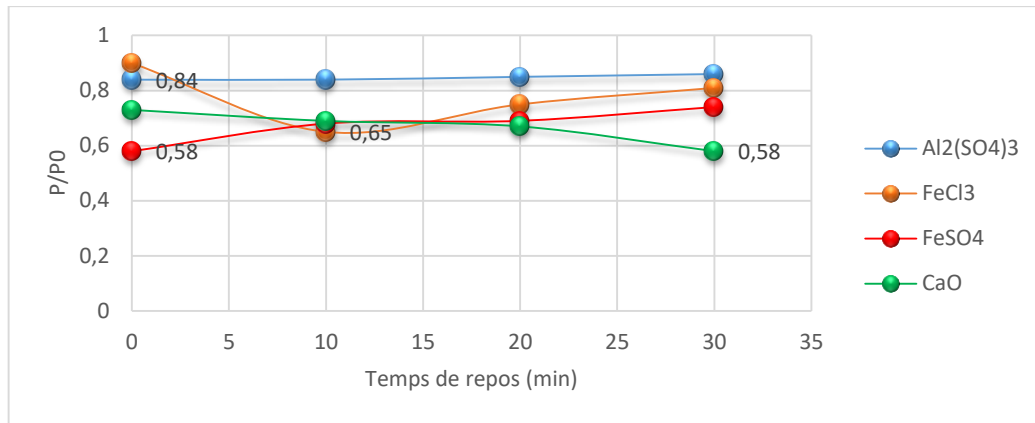


Figure III. 6: Variation de P/P_0 en fonction du temps de repos pour les quatre réactifs

Nous constatons d'après cette figure, que la variation du temps de repos n'améliore pas l'abattement de la concentration du phosphore pour les précipitants $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ et FeSO_4 . Avec FeCl_3 , P/P_0 atteint une valeur minimale de 0,65 soit un abattement de concentration du phosphore de 19% après un temps de repos de 10 min ce qui veut dire que la majeure partie des orthophosphates est complexée après 10 min de repos. Cependant nous remarquons qu'avec CaO , la valeur minimale de 0,58 pour P/P_0 (abattement de la concentration du phosphore de 15%) est obtenue pour un temps de repos de 30 min.

III.1.3. Variation de la vitesse d'agitation des quatre réactifs

Pour étudier l'influence de la vitesse d'agitation sur la précipitation nous avons réalisé une série d'expériences où nous avons varié la vitesse d'agitation pour les différents précipitants, tout en fixant le pH et le temps de repos à leur optimum pour chaque précipitant. La figure ci-dessous, présente cette variation et son effet sur la déphosphatation:

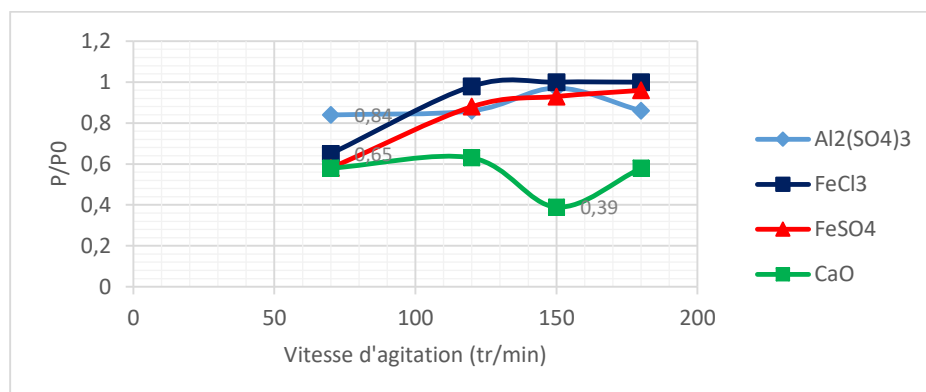


Figure III. 7: Variation de P/P_0 en fonction de la vitesse d'agitation pour les quatre précipitants.

Nous constatons, que l'augmentation de la vitesse d'agitation n'améliore pas l'abatement de la concentration du phosphore pour les précipitants $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, FeSO_4 et FeCl_3 , cela signifie que l'augmentation de la vitesse au-delà de 70 tr/min perturbe le processus de précipitation des orthophosphates par ses précipitants. Cependant pour CaO , la valeur minimale de P/P_0 de 0,39 (abattement de la concentration du phosphore de 19%) est obtenue à une vitesse d'agitation de 150 tr/min.

III.1.4. Variation des rapports molaires des quatre réactifs

Après avoir fixé le pH, le temps d'agitation, le temps de repos et la vitesse d'agitation, à leur optimum pour chaque précipitant, nous avons étudié l'influence de la variation du rapport molaire, en faisant varier ce dernier de 1 à 7 pour chaque réactif.

Les résultats obtenus sont illustrés par la figure suivante :

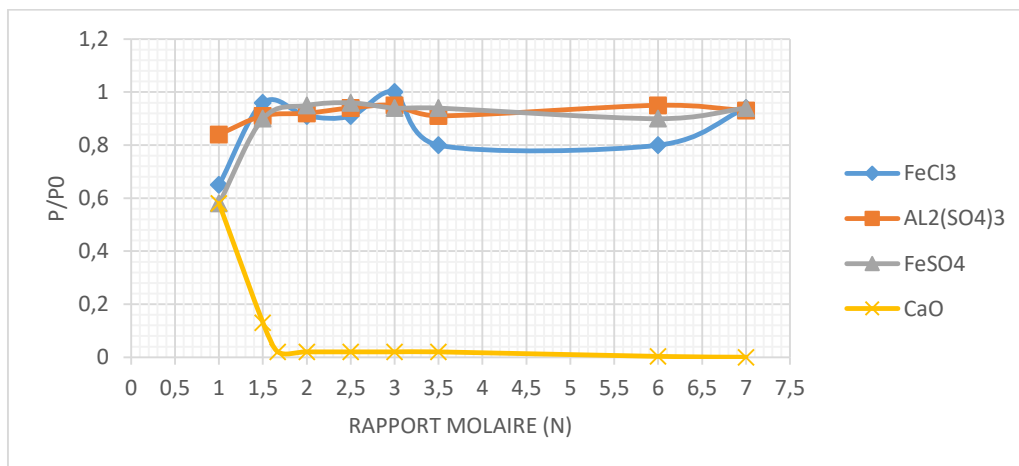


Figure III. 8 : Variation de P/P_0 en fonction du rapport molaire (n) pour les quatre précipitants

Nous constatons que les valeurs minimales de P/P_0 sont de 0,58, 0,65 et 0,84 respectivement des trois précipitants FeSO_4 , FeCl_3 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ obtenues pour n (rapport molaire Fe/P, rapport molaire Al/P) de 1. Nos rapports molaires Fe/P (FeSO_4 , FeCl_3) trouvés lors notre étude coïncide avec ceux cités dans les documents de la FNDAE [a] qui rapportent que les meilleures performances de FeCl_3 et FeSO_4 sont obtenues pour $n_{\text{Fe/P}}=1$. Cependant pour le CaO , le minimum du rapport P/P_0 est de 0,02 avec un taux d'abattement de 56 % obtenu pour le rapport molaire Ca/P de 1,67 ce qui correspond au rapport où les performances de CaO seront les meilleures selon le document de FNDAE [3].

III.1.5 Application des conditions optimales sur des rejets réels

Le tableau ci-dessous résume les conditions optimales choisies pour chaque précipitant, pour l'élimination du phosphate par la précipitation chimique :

Tableau III. 1: Résumé des conditions optimales les précipitants

	FeCl ₃	FeSO ₄	CaO	Al ₂ (SO ₄) ₃
pH	5	5.5	9	5
temps d'agitation (min)	5	10	5	5
Temps de repos (min)	10	0	30	0
Vitesse d'agitation (tr/min)	70	70	150	70
Le rapport molaire	1	1	1.67	1

III.1.5.1 Caractérisation des rejets :

L'estimation de la pollution est un problème complexe et délicat qui fait appel à des dosages et des tests de différents paramètres servant à caractériser de manière globale et pertinente le niveau de la pollution présente dans nos effluents. Parmi ces paramètres, nous citons les plus importants dans le tableau suivant :

Tableau III. 2: Caractérisation des effluents

Paramètres	Rejet A	Rejet B	Rejet C	Rejet D
Odeur	Mauvaise	Nauséabonde	Aucune	Aucune
Couleur	Trouble (marron)	rouge	blanc	Bleu
pH	7,24	6,95	11,68	11,37
Température (°C)	16,7	21,8	20,3	20,3
DCO (mg d'O₂/L)	923	11250	24766	20650
Conductivité (µS/cm)	1020	1157	51100	55200
Turbidité (NTU)	170	397	1987	734
MES (g/L)	0,21	0,85	8,22	22,56
MVS (g/L)	0,05	0,81	5,72	14,61
MM (g/L)	0,16	0,04	2,5	7,95
Ortophosphates (mg de P/L)	5,09	22,39	57,40	40,57
Nitrates (mg/L)	10,11	—	—	—
Nitrites (µg/L)	262,57	—	—	—
Chlorures (mg/L)	50	240	229	229

III.1.5.2 Interprétation des paramètres

- **Odeur** : les eaux usées et les eaux d'abattoir ont une odeur nauséabonde due à la fermentation anaérobie des matières organiques par les microorganismes.
- **Couleur** : L'eau usée a une couleur marron due la présence des MES, la couleur rouge des eaux d'abattoir est causée par la présence du sang animal. L'eau de l'usine de lessive (rejet D) a une couleur bleue qui est liée à l'utilisation de la force Blue.
- **pH** : Nous remarquons que le pH de l'eau usée est 7,24 et l'eau de l'abattoir à un pH de 6,95, ce qui signifie qu'ils ont un caractère neutre. Quant au pH de rejet de lessive qui est de 11,68 et 11,37 explique un caractère basique, car la lessive contient des composés alcalins qui améliorent l'action des tensioactifs.
- **La température** : L'eau doit être évacuée vers l'environnement à des températures inférieures à 30°C. Pour les quatre rejets qu'on a traités, la température est inférieure à 30°C.
- **La demande chimique en oxygène DCO** : La demande chimique en oxygène DCO des différents rejets est nettement supérieure à la norme de rejet (120 d'O₂/L), ce qui explique leur richesse en matières oxydables.
- **La conductivité** : Les rejets de l'usine de lessive se caractérisent par une grande conductivité et cela est dû à la grande concentration en ions, elle est le paramètre indiquant leur richesse en matières minérales.
- **Les matières en suspension (MES)** : Elles représentent la fraction constituée par l'ensemble des particules, organiques (MVS) ou minérales (MM), non dissoutes de la pollution. Elles constituent un paramètre important qui marque bien le degré de pollution d'un effluent urbain ou industriel. Dans le cas de nos rejets la valeur de MES dépasse largement celle des normes de rejet qui de 35 mg/L.
- **Les phosphates**: Les concentrations initiales des orthophosphates des rejets traités sont supérieures à la norme des rejets (10 mg P /L) sauf l'eau usée de l'ONA (5 mg P /L).

Après avoir optimisé les conditions opératoires pour chaque précipitant, nous les avons appliquées au traitement des quatre rejets chargés en phosphates. Au cours de ce traitement, nous avons suivi plusieurs paramètres dont les phosphates, la conductivité, la turbidité et la DCO.

❖ **Rejet A (eau usée de l'ONA)**

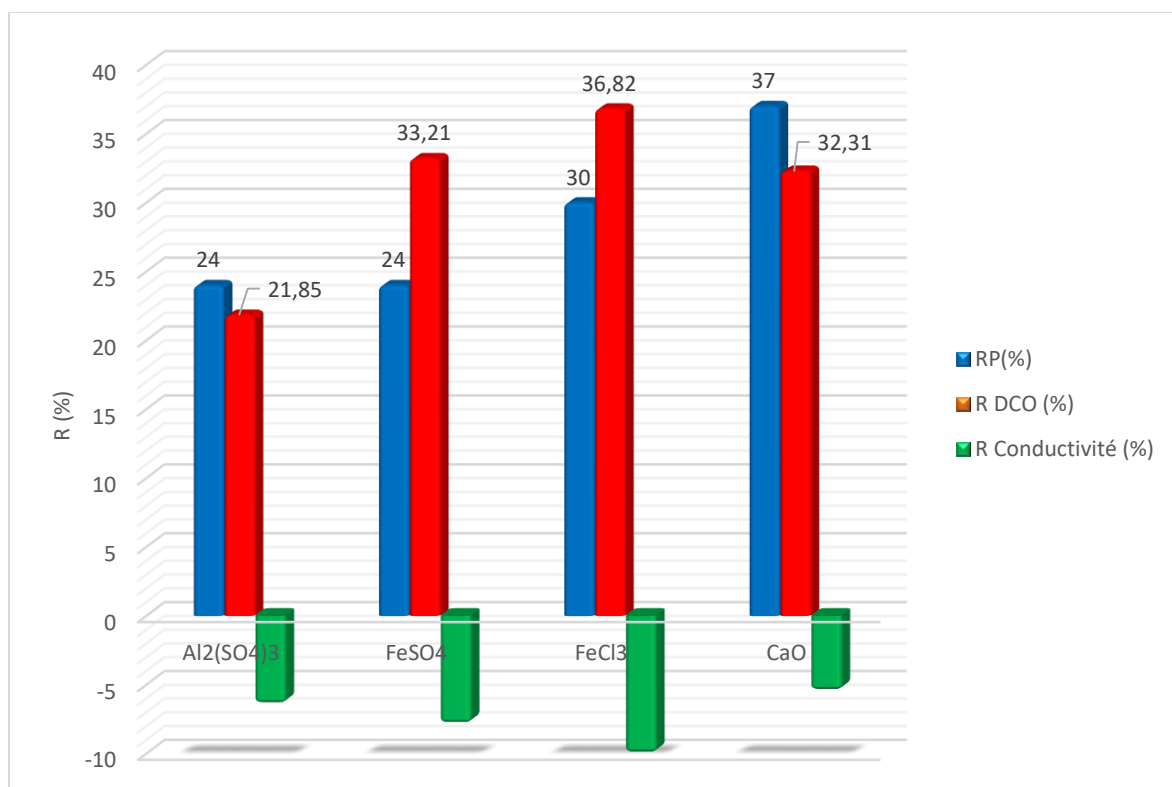


Figure III.9: Abattement du phosphore, de la DCO et de la conductivité pour chaque précipitant du traitement des eaux usées de l'ONA

La figure III.9 représente l'abattement du phosphore, de la DCO et de la conductivité pour chaque réactif. On remarque que le meilleur taux d'abattement du phosphore est obtenu avec le CaO soit 37 %. Cependant, le meilleur taux d'abattement de la DCO soit 36,82 %, est obtenu avec le FeCl₃ et une légère augmentation de la conductivité pour tous les réactifs due à l'apport minéral de ces précipitants aux rejets.

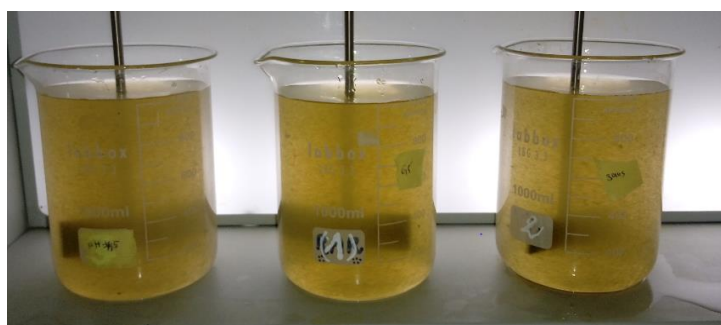


Figure III.10: La formation des floccs pendant le traitement par précipitation des eaux usées

❖ **Rejet B (eau d'abattoir)**

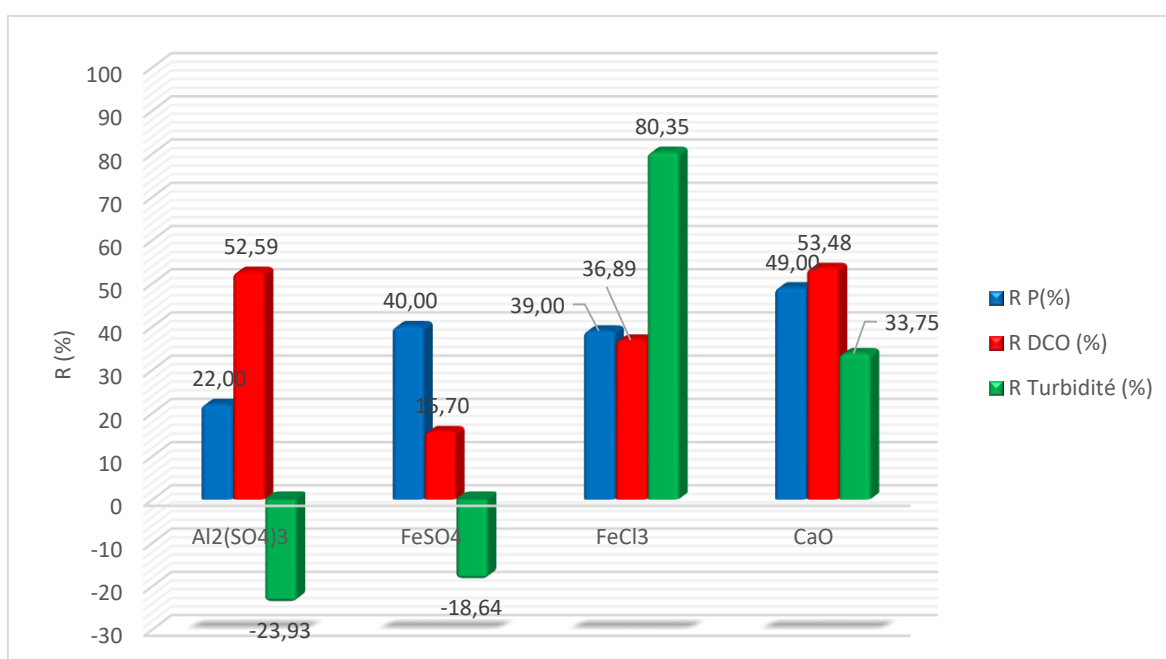


Figure III. 11: Abattement du phosphore, de la DCO et de la turbidité de chaque réactif du traitement des eaux d'abattoir

Après le traitement des eaux de l'abattoir par précipitation, l'interprétation de la figure ci-dessus révèle, que le meilleur rendement d'élimination du phosphate et de la DCO est obtenu avec le CaO , soit un taux d'abattement de 49% et de 53,48 % respectivement. Quant au $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, le plus faible taux d'abattement est obtenu pour le phosphore soit 22 %.

Par ailleurs, le meilleur abattement de la turbidité est obtenu avec le FeCl_3 de 80,35 %. L'abattement de la DCO, de la turbidité et de la concentration des phosphates se traduit

par la formation de 80 ml des boues chimiques au fond du bécher après la précipitation comme le montre la figure III.12.



Figure III.12: Surnageant après le traitement par précipitation des eaux d'abattoir

❖ **Rejet C (eau d'usine blanche)**

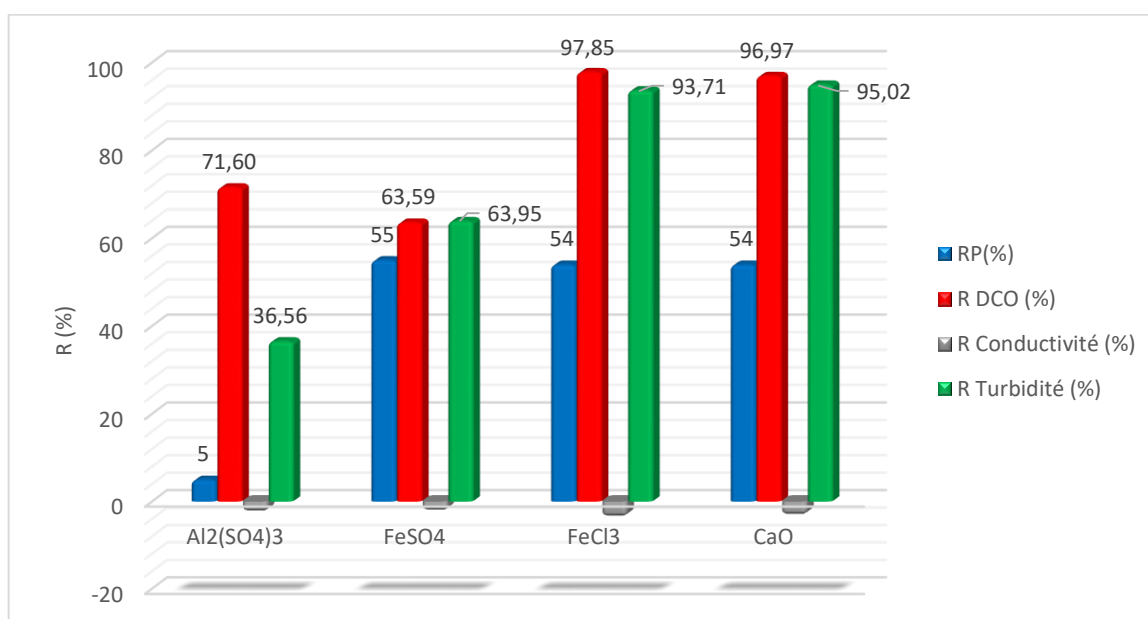


Figure III.13: L'abattement du phosphore, de la DCO, de la conductivité et de la turbidité de chaque réactif après traitement du rejet C (eau d'usine blanche).

La figure III.13 représente l'abattement du phosphore, de la DCO et de la conductivité après traitement du rejet C avec chaque réactif. Nous constatons que le meilleur rendement de la déphosphatation est obtenu lors du traitement avec FeSO_4 , FeCl_3 et CaO soit un taux d'abattement de 54% contrairement à $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ qui donne le plus faible rendement du phosphore soit 5%. Pour la DCO le meilleur rendement est obtenu avec FeCl_3 soit 97,85% et le CaO (95,02%) le traitement avec ce dernier permet de précipiter 400 ml de boues chimiques au fond de bécher comme le montre la figure III.10 .



Figure III. 14: Surnageant après le traitement par précipitation du rejet (sans colorant) de l'usine de la lessive

❖ **Rejet D (eau d'usine bleue)**

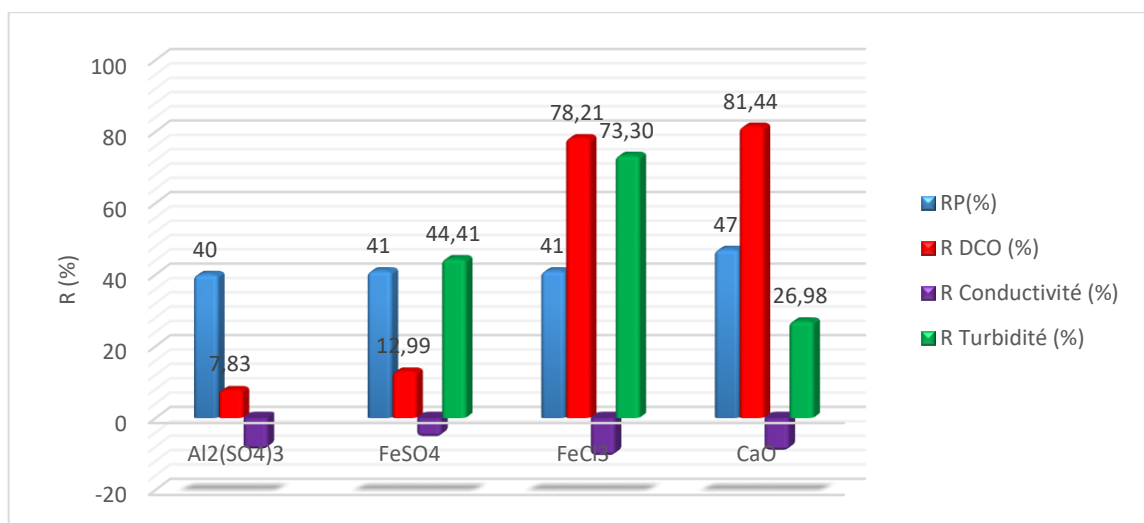


Figure III. 15: L'abattement de la DCO, de concentration du phosphate, de la conductivité et de la turbidité du rejet issu d'usine (Blue) de lessive

Nous constatons d'après cette figure que le meilleur rendement du phosphore et la DCO est obtenu avec $FeCl_3$ soit un abattement de 41% et de 78,21% respectivement et avec CaO soit un abattement de 47% et de 81,44% respectivement. Ceci se traduit par la formation d'environ 400 ml de boues chimiques au fond du bécher après la précipitation par CaO comme le montre la figure III.16. Toutefois le meilleur rendement d'élimination de la turbidité est obtenu avec $FeCl_3$ soit 73,30%.

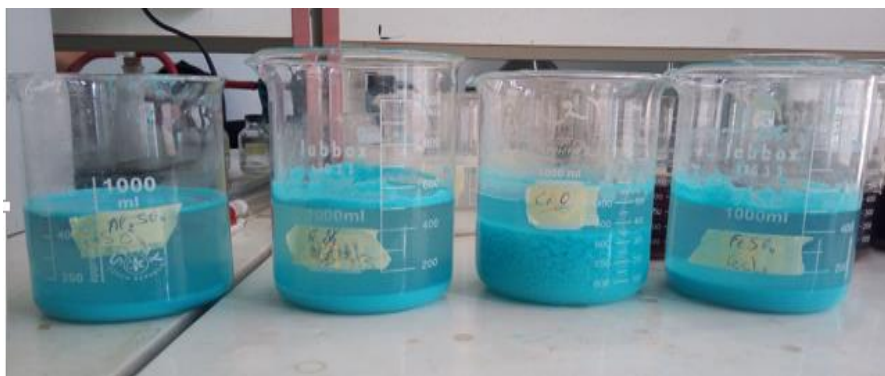


Figure III. 16: Surnageant après le traitement par précipitation du rejet (Blue) de l'usine de la lessive

III.1.5.3 Volume des boues

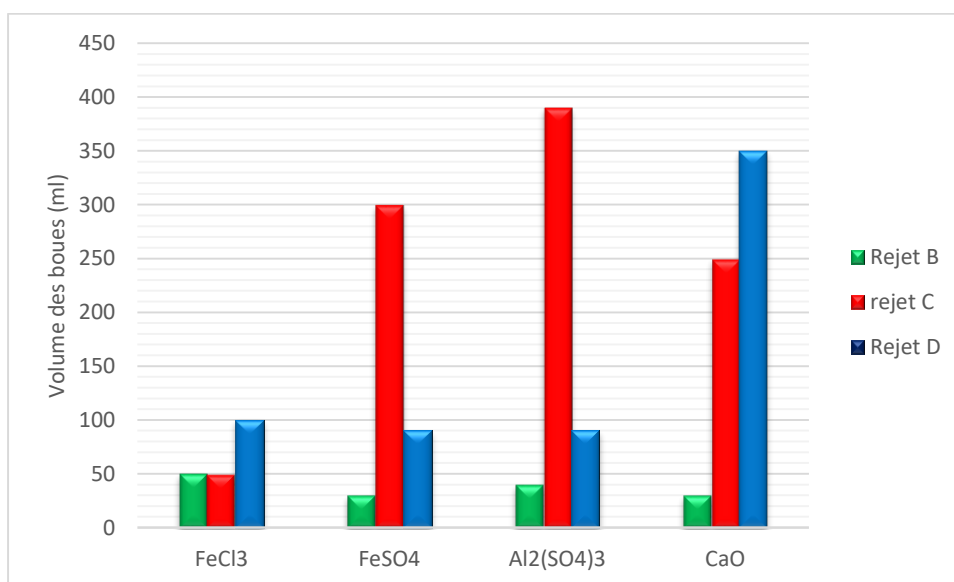


Figure III.17 : Volume des boues de chaque rejet issu de la précipitation chimique

La figure III.17 représente le volume de boues issues lors du traitement par précipitation chimique de 500 ml de solution réactionnelle. On constate que pour le rejet C, le volume des boues obtenu lors du traitement avec CaO, FeSO₄ et Al₂(SO₄)₃ est très grand par rapport à celui obtenu avec le FeCl₃. Cependant pour le rejet D, on obtient une importante quantité de boue uniquement avec le CaO alors qu'elle est faible pour les eaux d'abattoir avec tous les précipitants.



Figure III. 18 : Boues issues de traitement de rejet d'abattoir après précipitation



Figure III. 19 : Boues issues de traitement de rejet (Blue) d'usine de la lessive après précipitation



Figure III. 20 : Boues issues de traitement de rejet(Blanc) d'usine de la lessive après précipitation

III.2 Traitement par coagulation-floculation

Nous avons suivi les mêmes étapes que la précipitation chimique, c'est-à-dire chercher les conditions optimales de la coagulation-floculation sur une solution synthétique de 60 mg de P/L. Une fois les conditions optimisées, nous les avons appliquées pour le traitement des rejets réels.

III.2.1 Optimisation du pH des coagulants

❖ CaO

Nous avons varié le pH des solutions pour le CaO à 8 ; 8,5 ; 9 ; 9,5. Les résultats obtenus sont illustrés sur la figure suivante :

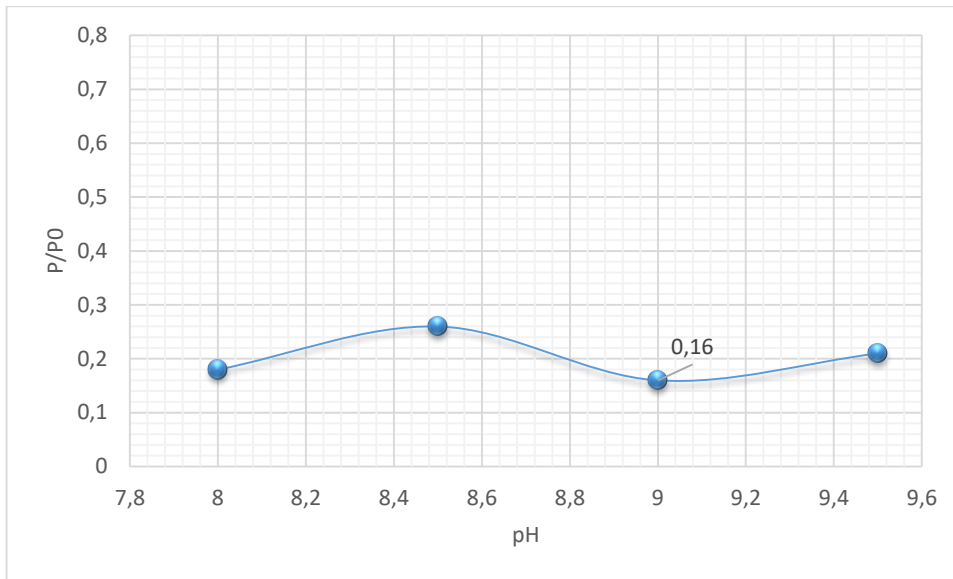


Figure III. 21: Variation de P/P_0 en fonction du pH cas de CaO

La figure III.21 représente la variation de P/P_0 en fonction du pH, nous observons que la valeur minimale de P/P_0 est obtenue avec un taux d'abattement de 84 % ($P/P_0 = 0,16$) à pH optimal 9.

❖ FeSO_4

Nous avons varié pH des solutions comme suit : 5 ; 5,5 ; 6 ; 6,5. Les résultats obtenus sont représentés sur la figure suivante :

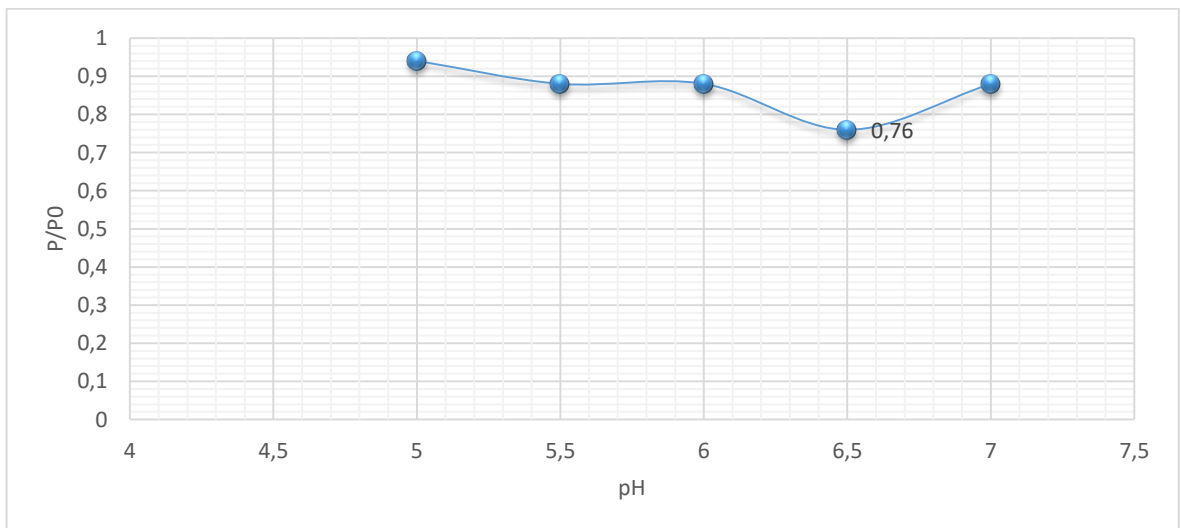


Figure III.22 : Variation de P/P_0 en fonction du pH cas de FeSO_4

La figure III.22 représente la variation de P/P_0 en fonction du pH ; on a obtenu un rendement maximal de 24% avec une valeur de 0,76 de P/P_0 au pH 6,5.

❖ FeCl_3

Nous avons varié le pH des solutions comme suit 5 ; 5,5 ; 6 ; 6,5. Les résultats sont reportés sur le graphe ci-dessous :

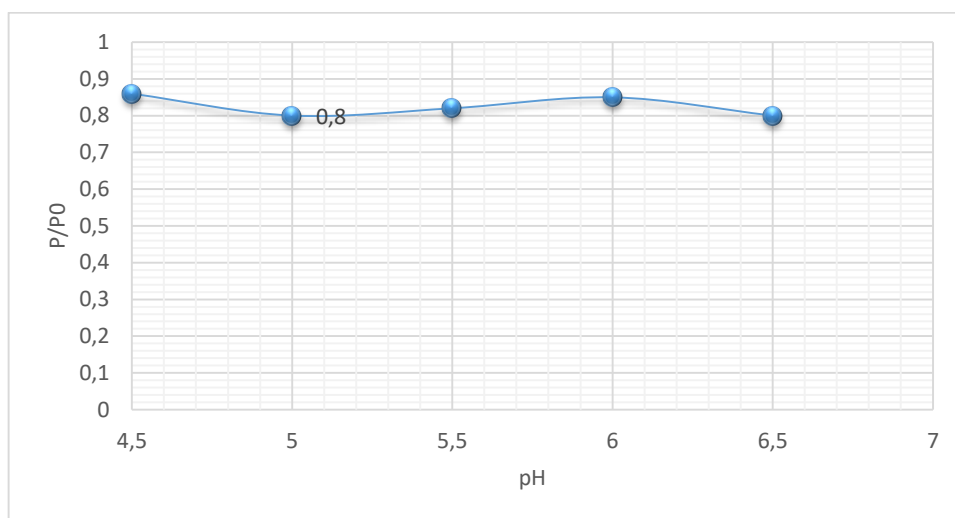


Figure III. 23: Variation de P/P_0 en fonction du pH cas de FeCl_3

La figure III.23 représente la variation de P/P_0 en fonction du pH de FeCl_3 où le meilleur rendement du traitement soit 20% est obtenu à un pH de 5 avec une valeur de P/P_0 de 0,8.

❖ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

Pour $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ nous avons varié le pH comme suit 5 ; 5,5 ; 6 et 6,5. La figure ci-dessous montre les résultats obtenus :

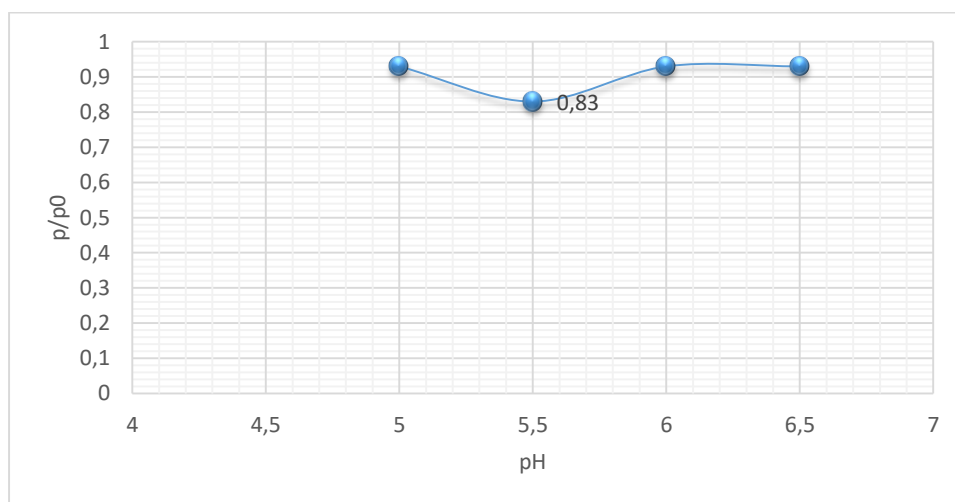


Figure III.24 : Variation de P/P_0 en fonction du pH cas de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

La figure III.24 représente la variation de P/P_0 en fonction du pH, on remarque que P/P_0 a atteint sa valeur minimale de 0,83, soit un taux d'abattement de 17 % à pH 5,5.

III.2.2 Détermination de la dose optimale du coagulant

❖ CaO

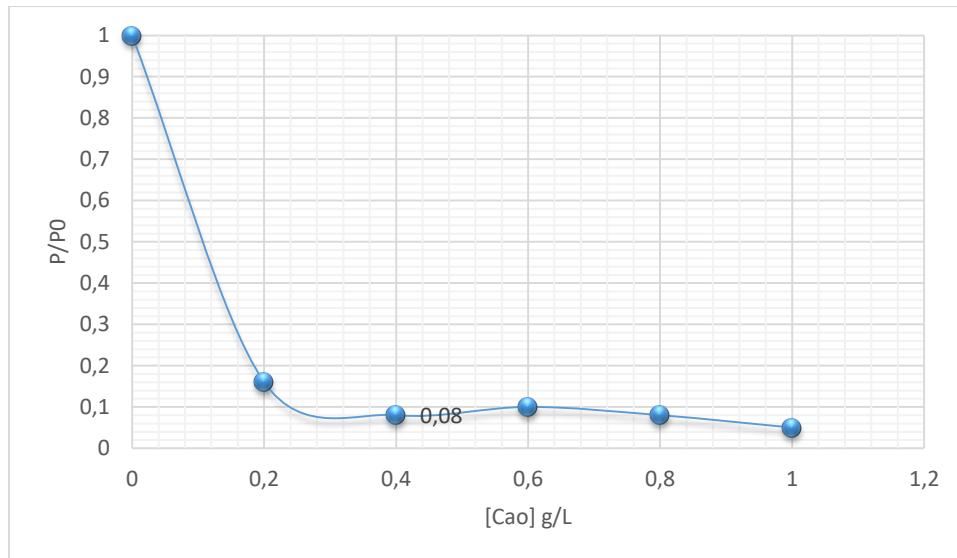


Figure III. 24: Variation de P/P_0 en fonction de la dose de CaO

La figure III.24 représente la variation de P/P_0 en fonction de la dose du coagulant CaO, où nous constatons que P/P_0 atteint le minimum de 0,08 soit un taux d'abattement de 92% obtenu avec une dose de 0,4g/L de CaO.

❖ FeSO₄

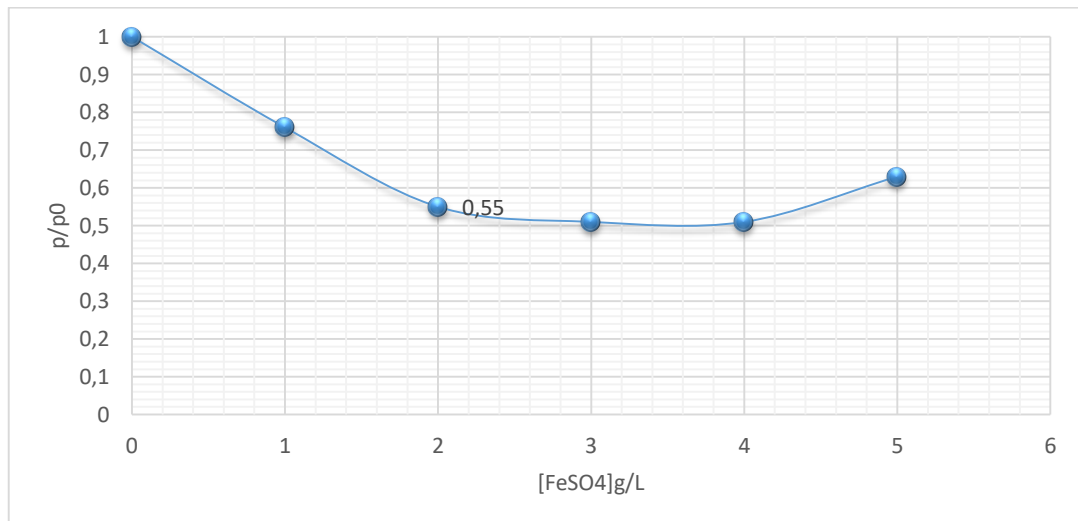


Figure III.2 5 : Variation de P/P_0 en fonction de la dose de FeSO₄

La figure III.25 représente la variation de P/P_0 en fonction de la dose du coagulant FeSO₄. Nous constatons d'après cette figure qu'à partir de la dose de 2g/L de FeSO₄, nous obtenons la valeur minimale de P/P_0 qui est de 0,55 soit un rendement d'élimination de 45%.

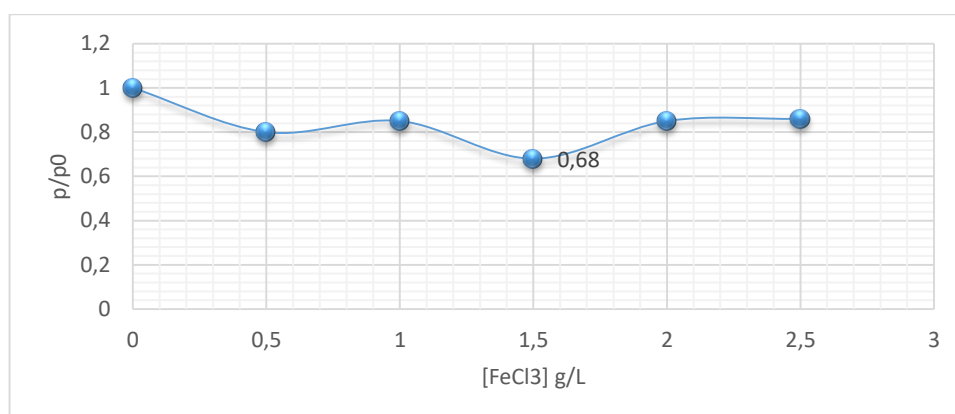
❖ FeCl_3 

Figure III.26 : Variation de P/P_0 en fonction de la dose de FeCl_3

La figure III.26 représente la variation de P/P_0 en fonction de la dose du coagulant FeCl_3 où nous constatons que 0,68 est la valeur minimale de P/P_0 obtenue à une dose de 1,5 g/L de FeCl_3 avec un rendement d'élimination du phosphore de 32%.

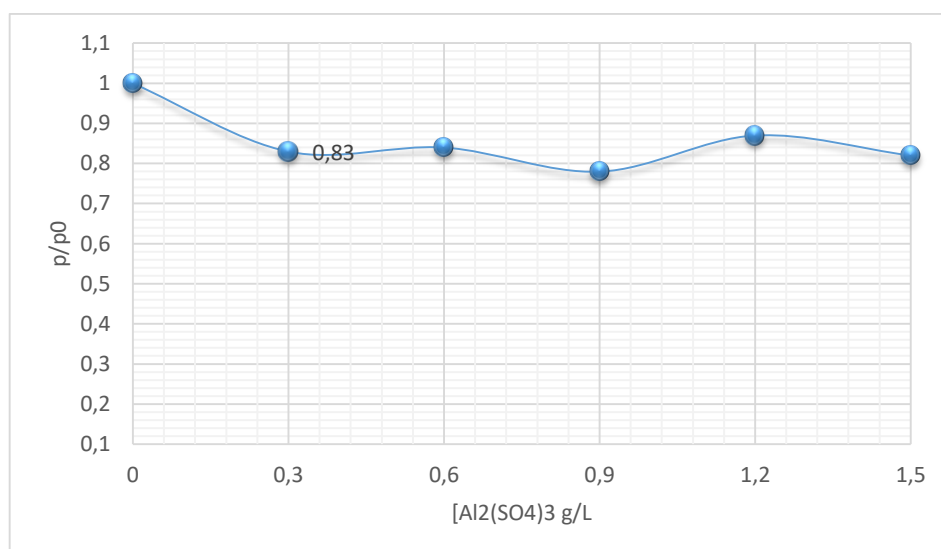
❖ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 

Figure III. 27 : Variation de P/P_0 en fonction de la dose de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

La figure III.27 représente la variation de P/P_0 en fonction de la dose du coagulant, elle révèle que le meilleur abattement de concentration de phosphore (17%) est obtenu pour la dose de 0,3 g/L de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$; la valeur de P/P_0 atteint son minimum de 0,83.

III.2.3 Détermination de la dose du floculant

Le floculant utilisé au cours de cette étude est un floculant naturel qu'est l'alginate

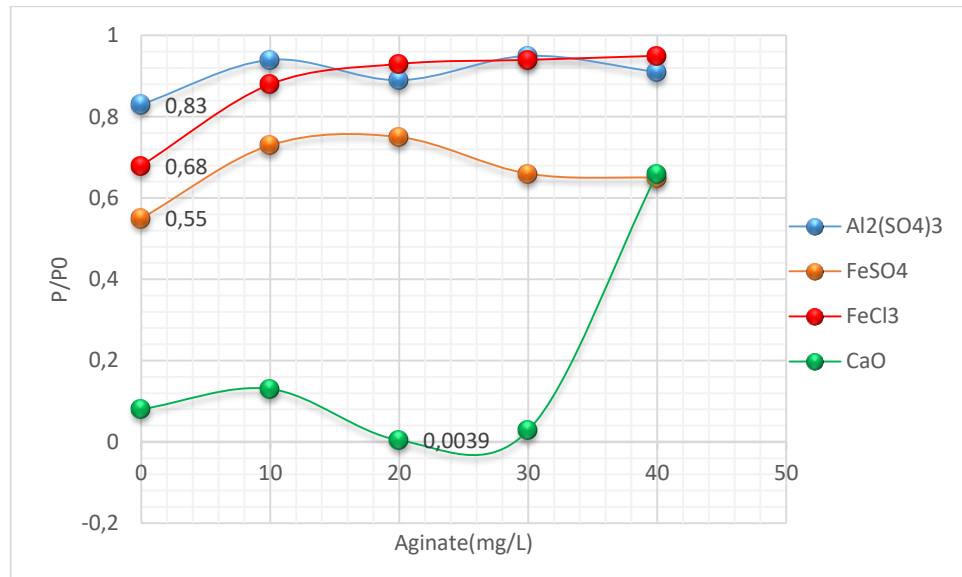


Figure III. 28 : Variation de P/P_0 en fonction de la dose du flocculant pour chaque coagulant

La figure III.28 représente la variation de P/P_0 en fonction de la dose du flocculant pour chaque coagulant. Nous constatons d'après ce graphe que le flocculant améliore la déphosphatation pour le CaO car la valeur de P/P_0 passe de 0,08 (avec un abattement de 92 %) à une valeur de 0,0039 (avec un abattement de 99,61%) et cela pour une dose de 20 mg/l d'Alginate. Cependant, la dose du flocculant ne révèle aucune amélioration avec les autres coagulants.

III.2.4 Application des conditions optimales sur les rejets réels

Après avoir optimisé le pH, la dose du coagulant et du flocculant, nous appliquons ces conditions pour le traitement des effluents réels.

La détermination des conditions optimales a été réalisée sur une solution phosphatée synthétique, le meilleur rendement de la déphosphatation a été obtenu sans l'utilisation de flocculant pour les coagulants FeCl₃, FeSO₄ et Al₂(SO₄)₃ et avec flocculant pour CaO. Sachant que les effluents à traiter sont de composition hétérogène, nous avons décidé d'appliquer ces conditions avec et sans le flocculant dans le but de voir l'influence de la composition des rejets sur les rendements d'élimination des paramètres à étudier.

Au cours de l'application du traitement sur les rejets nous avons suivi plusieurs paramètres dont la conductivité, la turbidité, DCO et de phosphate.

III.2.4.1 Conditions opératoire optimale de la coagulation-floculation

Avant de passer à l'application de ces conditions pour le traitement des rejets, les conditions trouvées pour chaque coagulant sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau III. 3 : Les conditions opératoires optimales de la coagulation-floculation

conditions	CaO	FeCl ₃	FeSO ₄	Al ₂ (SO ₄) ₃
pH	9	5	6,5	5,5
Dose du coagulant (g/L)	0,4	1,5	2	0,3
Dose du flocculant (mg/L)	20	10	30	20

III.2.4.1.1 Application avec le flocculant

❖ Rejet A

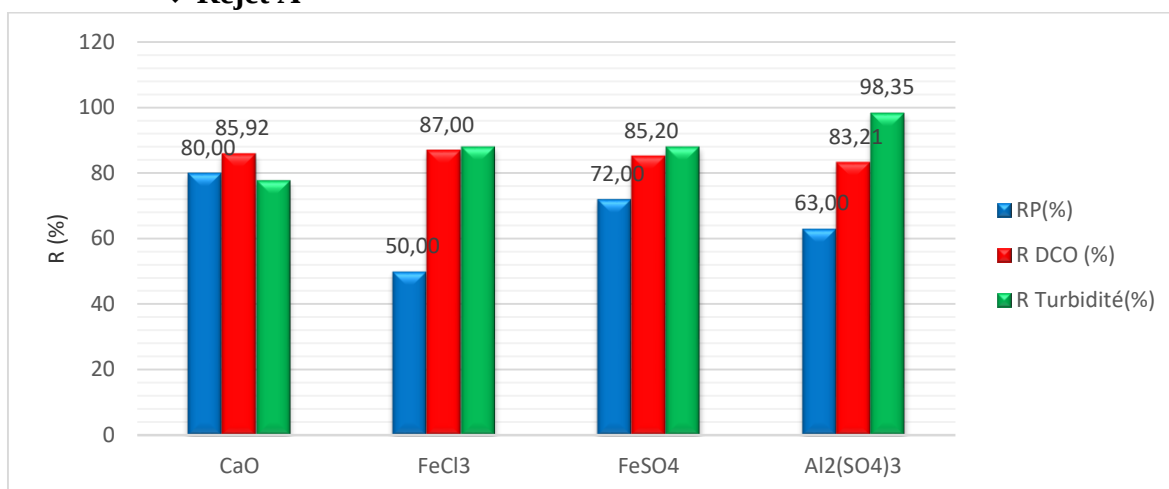


Figure III. 29 : Taux d'abattement de la concentration du phosphore, de la DCO et de la turbidité pour chaque coagulant après le traitement du rejet A par coagulation-floculation (avec flocculant)

La figure III.29 représente le taux d'abattement d'élimination du phosphore, de la DCO et de la turbidité en fonction des coagulants après traitement de l'eau usée de l'ONA. Nous constatons que les meilleurs rendements d'élimination du phosphore et de la DCO sont obtenus avec le CaO, soient 80 % et 85,92 % respectivement. Ainsi, pour les eaux usées de l'ONA on est arrivé à atteindre les normes de rejet (1 mg/L), tel que le stipule la législation Européenne qui a pour but de limiter le phénomène d'eutrophisation. Néanmoins la turbidité est améliorée avec un rendement de 98,35 % pour le Al₂(SO₄)₃.

❖ Rejet B

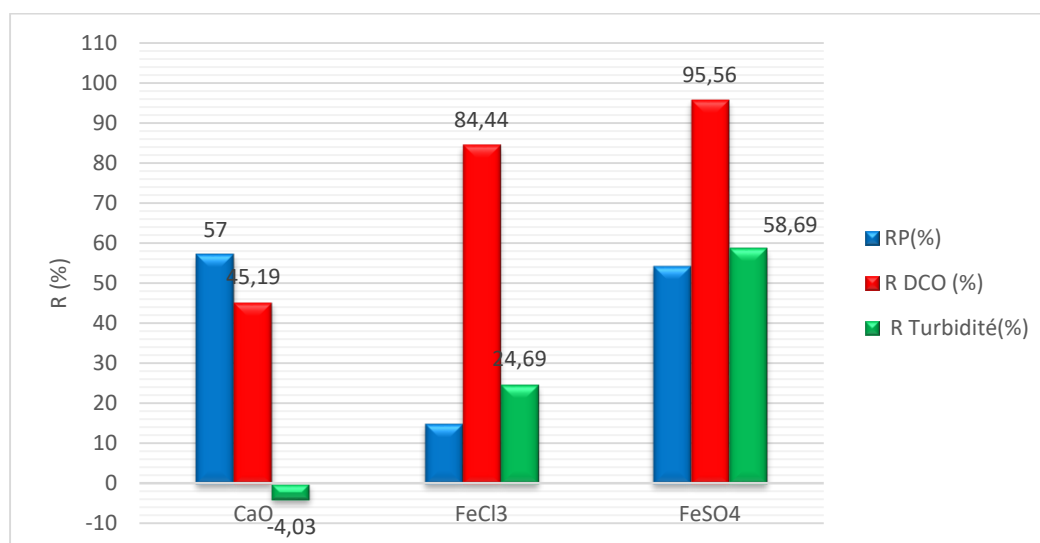


Figure III. 30 : Taux d'abattement de la concentration du phosphore, de la DCO et de la turbidité pour chaque coagulant après le traitement du rejet B par coagulation-floculation (avec flocculant)

La figure III.30 représente l'abattement d'élimination du phosphore, de la DCO et de la turbidité en fonction des coagulants des eaux d'abattoir. Nous remarquons que le meilleur rendement d'élimination du phosphore, soit 57 % est obtenu avec le CaO. Cependant le meilleur abattement de la DCO (95,56 %) et de la turbidité (58,69 %) sont obtenus avec le FeSO_4 .

❖ Rejet C

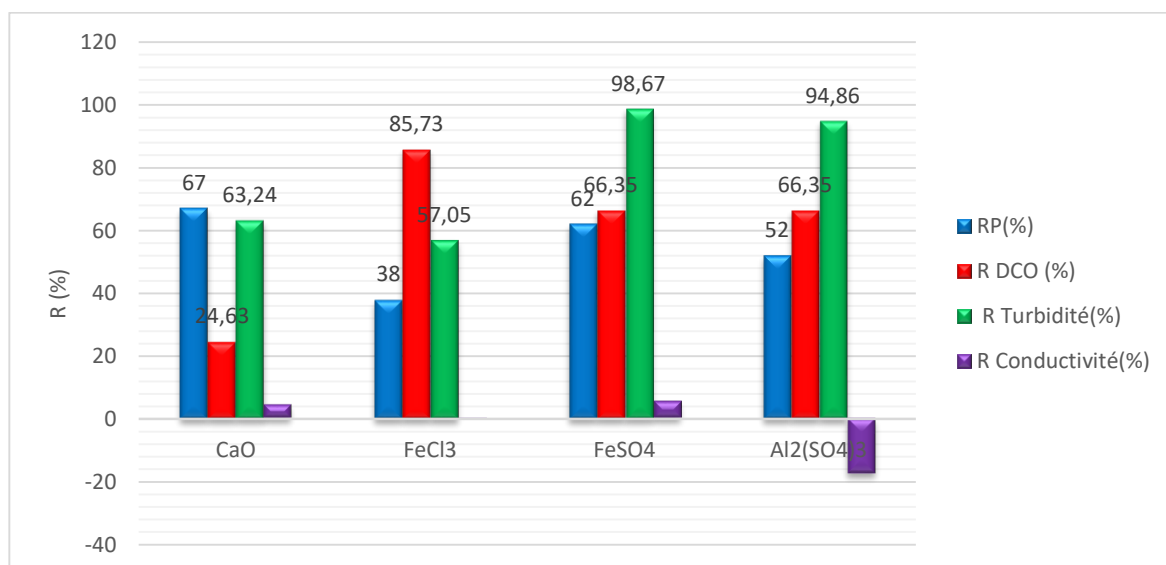


Figure III. 31 : Taux d'abattement de la concentration du phosphore, de la DCO et de la turbidité pour chaque coagulant après le traitement du rejet C par coagulation-floculation (avec flocculant)

La figure III.31 représente le rendement d'élimination du phosphore, de la DCO, de la turbidité et de la conductivité en fonction des coagulants des eaux d'usine de lessive (blanc). Nous constatons que le CaO donne un meilleur rendement d'élimination du phosphore de 67 % avec une nette amélioration de la conductivité. Cependant une nette diminution de la DCO du rejet est observée pour le FeCl_3 avec un abattement de 85,73%. Enfin, une diminution forte de la turbidité est obtenue avec FeSO_4 et $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ avec rendement d'élimination aux alentours de 98 %.

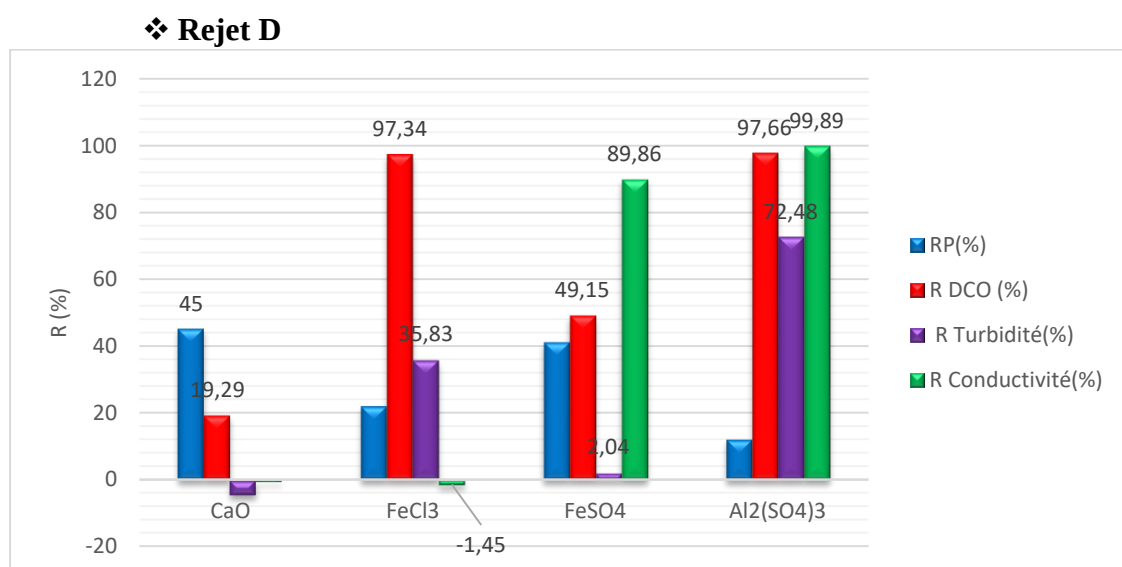


Figure III. 32 : Taux d'abattement de la concentration du phosphore, de la DCO, conductivité et de la turbidité pour chaque coagulant après le traitement du rejet D par coagulation-floculation (avec flocculant)

La figure III.32 représente le rendement d'élimination du phosphore, de la DCO, de la turbidité et de la conductivité en fonction des coagulants des eaux d'usine de lessive (blue). On constate que le meilleur taux d'élimination du phosphore est obtenu avec 45 % de CaO. Cependant, la meilleure amélioration de la DCO, conductivité et turbidité est obtenue avec $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ avec les rendements d'éliminations suivants : 96%, 99% et 73% respectivement.

III.2.4.1.2 Application sans le flocculant

❖ Rejet A

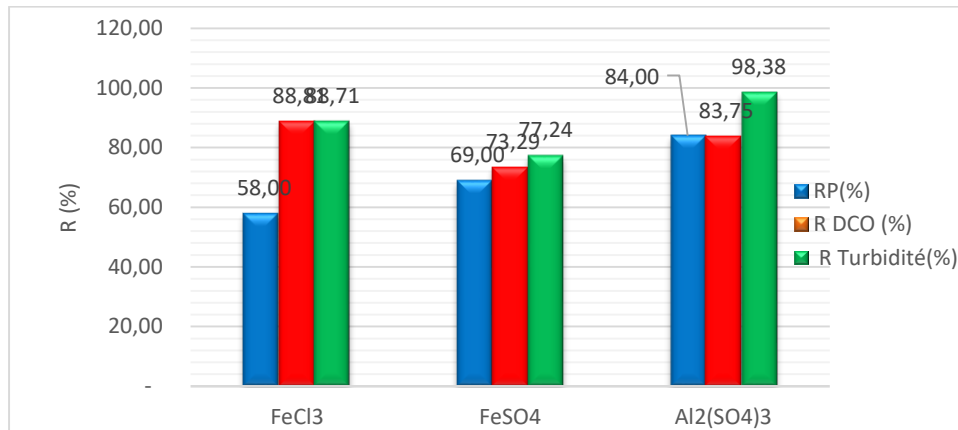


Figure III. 33 : Taux d'abattement de la concentration du phosphore, de la DCO et de la turbidité pour chaque coagulant après le traitement du rejet A par coagulation-floculation (sans flocculant)

La figure III.33 représente le rendement d'élimination du phosphore, de la DCO et de la turbidité en fonction des coagulants sans l'utilisation du flocculant. On remarque que le meilleur rendement d'élimination du phosphore soit 84% est obtenu avec le $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, celui de la DCO est de 84% et de la turbidité peut atteindre les 98 %.



Figure III. 34 : Surnageant des eaux usées pendant la coagulation-floculation (sans flocculant)

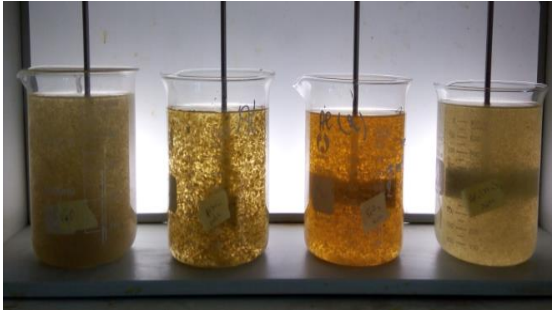


Figure III. 35 : Surnageant pendant la coagulation-floculation des eaux usées (sans flocculant)



Figure III. 36 : Surnageant après coagulation-floculation des eaux usées (sans flocculant)

❖ Rejet B

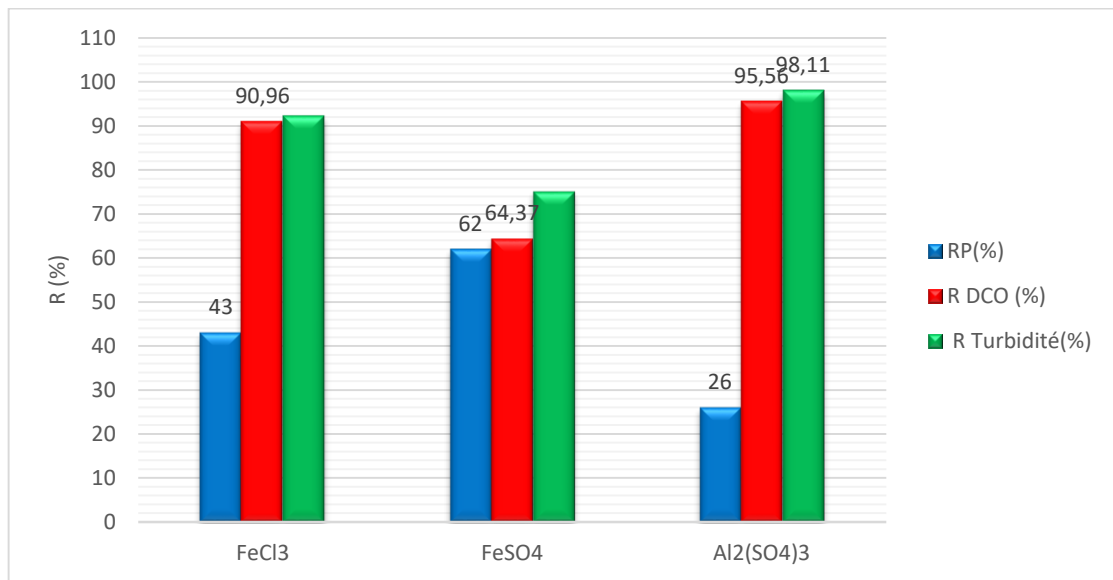


Figure III. 37: Taux d'abattement de la concentration du phosphore, de la DCO et de la turbidité pour chaque coagulant après le traitement du rejet B par coagulation-floculation (sans flocculant)

La figure III.37 Représente le rendement d'élimination du phosphore, de la DCO et de la turbidité en fonction des coagulants (sans flocculant). Le meilleur rendement d'élimination du phosphore est obtenu avec FeSO_4 , soit 62% d'abattement. Cependant avec $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ nous avons de meilleurs rendements d'éliminations de la DCO (95 %) et la turbidité (98 %).

❖ Rejet C

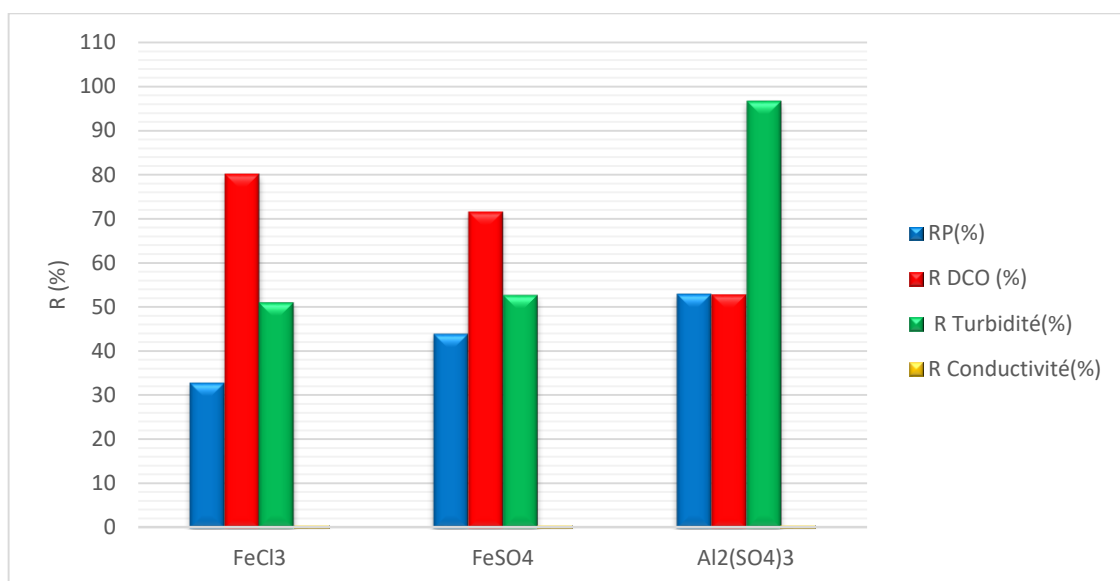


Figure III.38 : rendement d'élimination du phosphore, DCO, conductivité et turbidité en fonction des coagulants sans floculant du rejet C

La figure III.38 Représente le rendement d'élimination du phosphore, DCO et de la turbidité de rejet blanc d'usine de la lessive en fonction des coagulant sans floculant. Le meilleur rendement d'élimination du phosphore est obtenu avec $Al_2(SO_4)_3$, soit 53% d'abattement et un meilleur rendement d'élimination de la turbidité soit 96,70 %. Cependant $FeCl_3$ donne le meilleur abattement de la DCO avec 80, 22 %, Cependant, les quatre coagulants ne révèlent aucune amélioration pour la conductivité.

❖ Rejet D

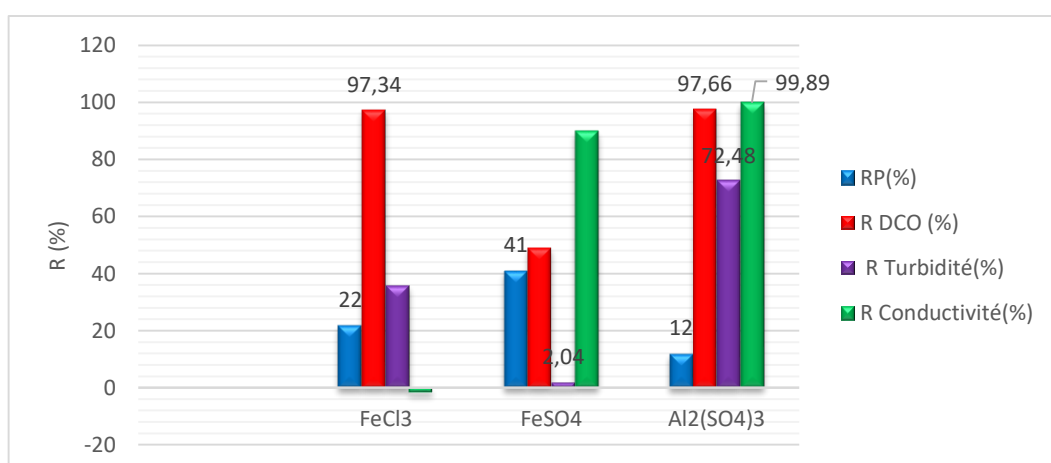


Figure III.39 : Rendement d'élimination du phosphore, DCO et turbidité après la coagulation-floculation (sans floculant) du rejet D en fonction des coagulants

La figure III.39 Représente le rendement d'élimination du phosphore, DCO et de la turbidité en fonction des coagulants. Le meilleur rendement d'élimination du phosphore est obtenu avec FeSO_4 , soit 41% d'abattement. Cependant $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ donne le meilleur rendement d'élimination de la DCO avec 97,66 %, de la conductivité avec 99,89 % et une amélioration nette de l'abattement de la turbidité avec 72,48 %. Un meilleur rendement d'élimination de la DCO est également obtenu par le FeCl_3 avec un abattement de 97,34%.

III.2.4.1.3 Comparaison entre les résultats obtenus avec et sans flocculant pour chaque rejet

❖ Rejet A

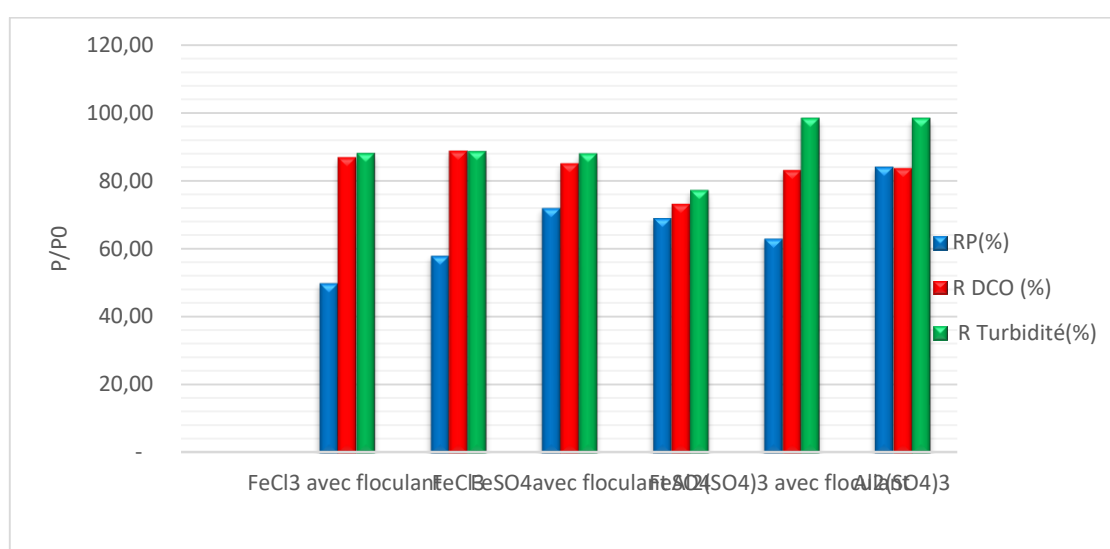


Figure III.40 : Comparaison entre les taux d'abattement obtenus après traitement avec et Sans flocculant du rejet A

La figure III.40 représente la comparaison entre les taux d'abattelements obtenus après traitement avec ajout et sans ajout du flocculant pour le rejet A. On constate que le bon abattement des paramètres étudiés est obtenu sans l'ajout du flocculant pour $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ et FeCl_3 . Toute fois une petite amélioration avec le FeSO_4 de 69 % à 72 % d'abattement de la concentration du phosphore et une amélioration de 11% dans le rendement d'élimination de la turbidité et 12% pour l'abattement de la DCO.

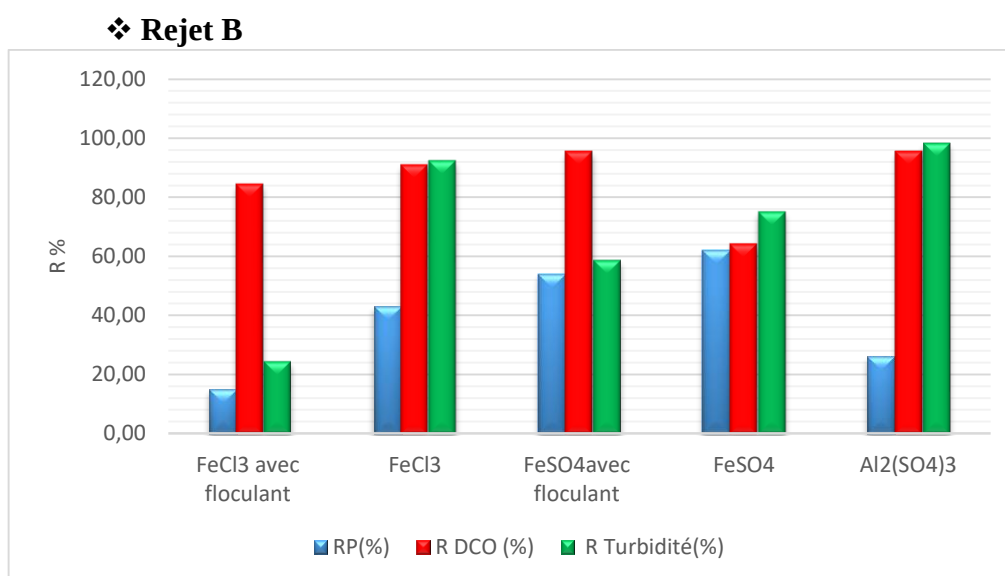


Figure III. 41: Comparaison entre les taux d'abattement obtenus après traitement avec et sans flocculant du rejet B

La figure III.41 représente la comparaison entre les taux d'abatteurs obtenus après traitement avec ajout et sans ajout du flocculant pour le rejet B. On remarque que le bon abattement de la turbidité et du phosphore est obtenu sans l'ajout de flocculant pour tous les réactifs sauf pour le FeSO_4 où on constate une amélioration (20%) de taux d'abattement de la DCO avec l'ajout du flocculant.



Figure III. 42 : Surnageant du rejet d'abattoir après traitement par coagulation-flocculant (avec flocculant)

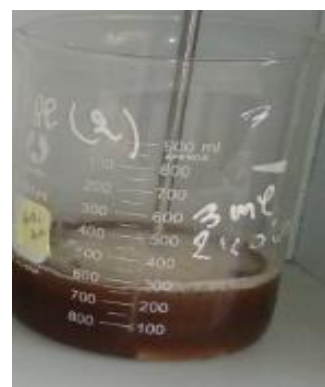


Figure III. 43 : Surnageant du rejet d'abattoir après traitement par coagulation-flocculant (sans flocculant)

❖ Rejet C

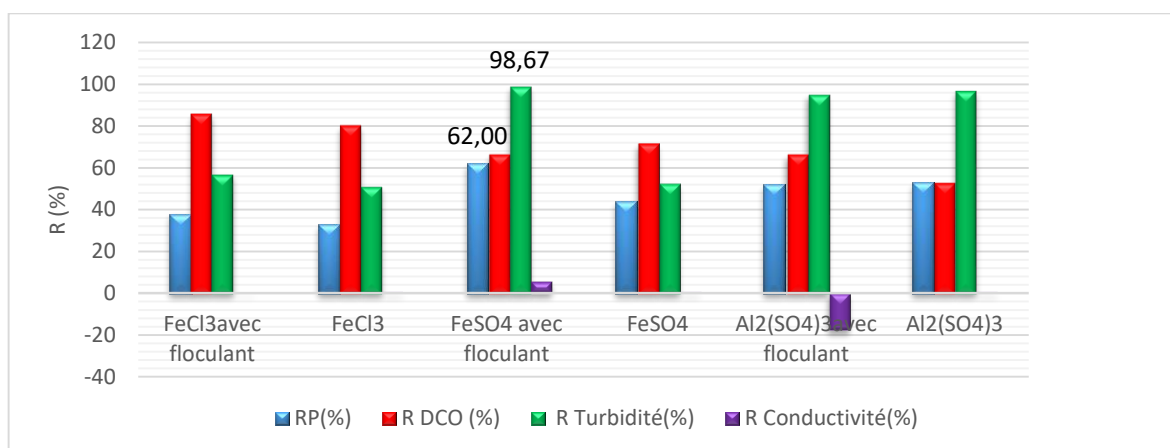


Figure III. 44 : Comparaison entre les taux d'abattement obtenus après traitement avec et sans flocculant du rejet C

La figure III.44 représente la comparaison entre les taux d'abattelements obtenus après traitement avec ajout et sans ajout du flocculant pour le rejet C. On constate que le bon abattement du phosphore est obtenu avec l'ajout du flocculant pour FeSO_4 . Néanmoins on remarque une légère amélioration de taux d'abattement de la DCO et une nette augmentation du rendement d'élimination de la turbidité pour FeSO_4 avec ajout de flocculant.

❖ Rejet D

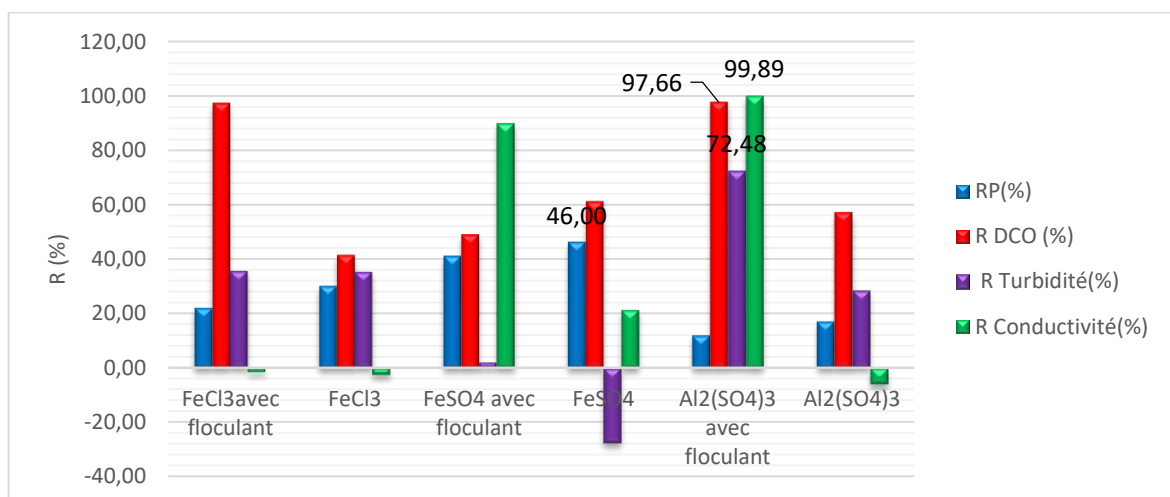


Figure III. 45 : Comparaison entre les taux d'abattement obtenus après traitement avec et sans flocculant du rejet D

La figure III.45 représente la comparaison entre les taux d'abattelements obtenus après traitement avec ajout et sans ajout du flocculant pour le rejet C. On constate que le bon rendement d'élimination du phosphore est obtenu sans l'ajout du flocculant pour tous les coagulants. on remarque aussi une grande augmentation du taux d'abattement de la DCO pour $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ et FeCl_3 avec flocculant. Cependant une nette amélioration de la conductivité

de 21,38 % à 89,86 % est obtenue pour FeSO_4 et de -5,98 à 99,89 pour $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, ainsi que augmentation du taux d'abattement de la turbidité pour ces deux derniers.



Figure III. 46 : Surnageant des rejets après traitement par coagulation-floculation

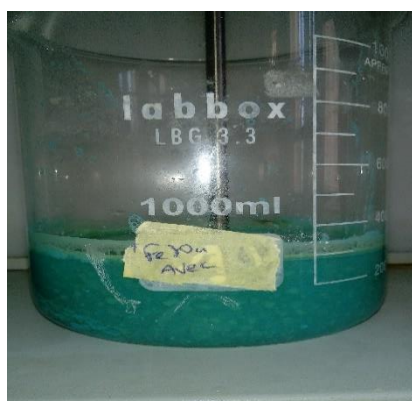


Figure III.47 : Surnageant du rejet D après traitement par coagulation floculation par FeSO_4 (avec flocculant).



Figure III. 48 : Surnageant du rejet D après traitement par coagulation floculation par FeSO_4 (sans flocculant).

Conclusion générale

Les rejets en phosphates issues des eaux usées domestiques et les rejets industriels dans le milieu naturel entraînent la dégradation des écosystèmes et conduisent notamment aux problèmes d'eutrophisation des cours d'eaux.

La déphosphatation des eaux chargées en phosphates s'avère d'une double exigence réglementaire et environnementale dont l'objectif est la limitation de l'eutrophisation des eaux de surface. Il y a donc un réel besoin d'apporter des voies d'amélioration au procédé existant pour répondre à cet objectif.

Dans ce contexte, l'objectif de notre étude est de réduire la teneur en phosphates dans les eaux chargées en phosphates. Pour cela nous avons opté pour deux traitements physico-chimiques qui sont la précipitation chimique et la coagulation-floculation, en utilisant quatre précipitants (coagulants) qui sont : la chaux, chlorure ferrique, sulfate ferreux hydraté et sulfate d'aluminium et un floculant naturel qui est l'alginate de sodium.

Avant d'entamer le traitement des effluents, nous avons optimisé les conditions opératoires de la déphosphatation chimique des solutions synthétiques préparées au laboratoire à des concentrations connues en phosphates, nous avons abouti aux résultats suivants :

- CaO : pH=9 pour 5 min d'agitation, un temps de repos de 30 minutes et un rapport molaire Ca/P = 1,67 sous une vitesse d'agitation de 150 tr/min pour la précipitation. Pour la coagulation floculation : pH = 9 avec une dose de 0,4 g/L de CaO et 20 mg/L du floculant.
- FeCl₃ : pH = 5 pour 5 min d'agitation, un temps de repos de 10 min et un rapport molaire de Fe/P =1 à 70 tr/min pour la précipitation avec le même pH pour la coagulation-floculation et une dose de 1,5 g/L et une dose de 10 mg/L de floculant.
- FeSO₄ : pH = 5,5 pour 10 min de temps d'agitation et un rapport molaire de Fe/P =1 à une vitesse d'agitation de 70 tr/min dans ce cas le temps de repos n'influe pas sur le rendement de déphosphatation. Pour la coagulation: pH =6,5; une dose de 2g/L de coagulant et 30 mg/L de floculant.

- $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$: pH = 5 pour 5 min d'agitation (le temps de repos n'influe pas sur la déphosphatation), un rapport molaire Al/P de 1 sous une vitesse d'agitation de 70 tr/min. Pour la coagulation-floculation à pH=5,5 ; une dose de 0,3 g/L de coagulant et 20 mg/L de floculant.

Au cours de l'application des conditions optimales au traitement des quatre rejets pour les deux procédés, nous avons suivi le rendement d'élimination des phosphates pour chaque réactif ainsi que d'autres paramètres tels que la conductivité, la turbidité et la DCO. Les résultats obtenus nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

Au cours de la précipitation et la coagulation floculation, la chaux s'est révélée meilleur pour la déphosphatation de tous les effluents.

La coagulation-floculation donne le meilleur rendement de déphosphatation et une amélioration de rendement d'élimination de la DCO et de la turbidité pour chaque rejet comme suit :

- **Rejet A (eau usée)**
80 % ; rendement d'élimination de phosphore avec CaO ;
85,92 % ; rendement d'élimination de la DCO avec $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$;
98 % ; rendement d'élimination de la turbidité avec $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.
- **Rejet B (eau d'abattoir)**
57 % ; rendement d'élimination de phosphore avec le CaO ;
95,56 % ; rendement d'élimination de la DCO avec $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$;
98,11 % ; rendement d'élimination de la turbidité avec $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.
- **Rejet C (rejet 1 de l'usine de la lessive)**
67 % ; rendement d'élimination du phosphore avec le CaO ;
85,73% ; rendement d'élimination de la DCO avec FeCl_3 (avec floculant) ;
98,67 % ; rendement d'élimination de la turbidité avec FeSO_4 (avec floculant).
- **Rejet D (rejet 2 de l'usine de la lessive)**
45 % ; rendement d'élimination de phosphore avec le CaO
97,66 % ; rendement d'élimination de la DCO avec $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (avec floculant)
72,48% ; rendement d'élimination de la turbidité avec $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (avec floculant) ;
99,89 %; rendement d'élimination de la conductivité avec $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (avec floculant).

Finalement, il nous a été possible d'atteindre les normes de rejet pour le traitement des eaux usées avec la coagulation-floculation mais pas pour les autres rejets.

Nous regrettons quand même la difficulté d'acquisition des rejets et le manque de temps qui nous aient été des facteurs nuisibles dans la mesure où un de nos objectifs n'a pas été atteint, celui de valoriser les boues issus des traitements appliqués.

Nous suggérons que cette étude puisse être poursuivie dans le but d'améliorer le rendement d'élimination du phosphore ainsi que les autres paramètres et d'atteindre les normes de rejets ; de coupler les traitements précédentes aux traitements suivants :

- Adsorption par charbon actif pour l'élimination de la couleur ;
- Filtre à sable ;
- Des filtres plantés garnis de phosphorites.

On propose aussi d'appliquer d'autres techniques pour l'élimination des phosphates :

- Améliorer la déphosphatation par coagulation-floculation toute en utilisant d'autres flocculants naturels et faire des combinaisons entre les coagulants ;
- La déphosphatation biologique par boues activées;
- Traitements combinés (biologique et physico-chimique);
 - Pré-précipitation ;
 - Précipitation simultanée ;
 - Précipitation en post-traitement.

Références bibliographique

- [1] MITAHRI M (2012) Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes. Cas de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou. Génie des procédés : Tizi-Ouzou.
- [2] CABANES F (2006) Déphosphatation des effluents : précipitation et valorisation du phosphore. Science Génie des matériaux : Toulouse.
- [3] Document technique FNDAE n° 29,(2004). Traitement du phosphore dans les petites stations d'épuration en boues activées. CEMAGREF N°29.
- [4] IFEN (1999) L'eutrophisation des rivières en France : où en est la pollution verte?, Les données de l'environnement.
- [5] Meybeck M (1997) Phosphore et Eutrophisation, In Le phosphore dans les sols, les déchets et les eaux. Association Française pour l'Etude des Sols.
- [6] Degremont, (2005), Mémento technique de l'eau, tome 1 & 2, 10ème édition, Lavoisier.
- [7] Cooper P, Day M, Thomas V (1994) Process option for phosphorus and nitrogen removal from wastewater, J. IWEM, 8, 84-92.
- [8] Ratanatamskul, C., Yamamoto, K., Urase, T., et Ohgaki, S. (1996) Effect of operating conditions on rejection of anionic pollutants in the water environment by nanofiltration especially in verylow pressure range, Water Science and Technology, 1996, 34, 9 pt 5, p. 149-156.
- [9] Crini, G., Badot, P.-M., et Morin-Crini, N. (2009) Traitement des eaux par du chitosane : intérêts, méthodes et perspectives. Technologies de l'eau, RE126, p. 1-13.
- [10] Wahab, M. A., Hassine, R. B. et Jellali, S. (2011) Posidoniaoceanica fibers as a potentiallow-cost adsorbent for the removal and recovery of orthophosphate. Journal of hazardousmaterials, volume 191, numéro 1–3, p. 333-341.
- [11] LEDUCJ-F.2015 étude sur le comportement de l'adsorption du phosphate sur de l'hydrogel de chitosane microsphérique.Spécialité : génie de l'environnement:Québec (CANADA).
- [12] Journal Officiel de la République Algérienne, 2006.
- [13]<http://hmf.enseeiht.fr/travaux/bei/beiere/content/reglementation-sur-les-stations-depuration>.
- [14] Durrant A. E., Scrimshaw M. D., Stratful I. et Lester J. N. (1999) Review of the feasibility of Recovering Phosphate fromWastewater for use as a rawmaterial by the Phosphate Industry, Journal of EnvironmentalTechnology, 20, pp749-758.

DECRETS

Décret exécutif n° 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels.

Le Chef du Gouvernement,

Sur le rapport du ministre de l'aménagement du territoire et de l'environnement,

Vu la Constitution, notamment ses articles 85-4° et 125 (alinéa 2) ;

Vu la loi n° 90-08 du 7 avril 1990, complétée, relative à la commune ;

Vu la loi n° 90-09 du 7 avril 1990, complétée, relative à la wilaya ;

Vu la loi n° 03-10 du 19 Joumada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable ;

Vu la loi n° 04-04 du 5 Joumada El Oula 1425 correspondant au 23 juin 2004 relative à la normalisation ;

Vu la loi n° 05-07 du 19 Rabie El Aouel 1426 correspondant au 28 avril 2005 relative aux hydrocarbures ;

Vu le décret présidentiel n° 04-136 du 29 Safar 1425 correspondant au 19 avril 2004 portant nomination du Chef du Gouvernement ;

Vu le décret présidentiel n° 05-161 du 22 Rabie El Aouel 1426 correspondant au 1er mai 2005 portant nomination des membres du Gouvernement ;

Vu le décret exécutif n° 93-160 du 10 juillet 1993 réglementant les rejets d'effluents liquides industriels ;

Décrète :

Article 1er. — En application des dispositions de l'article 10 de la loi n° 03-10 du 19 juillet 2003, susvisée, le présent décret a pour objet de définir les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels.

SECTION 1

DES DISPOSITIONS PRELIMINAIRES

Art. 2. — Au sens du présent décret on entend par rejet d'effluents liquides industriels tout déversement, écoulement, jet et dépôt d'un liquide direct ou indirect qui provient d'une activité industrielle.

Art. 3. — Les valeurs limites de rejets d'effluents liquides industriels sont celles fixées en annexe du présent décret.

Toutefois, en attendant la mise à niveau des installations industrielles anciennes dans un délai de cinq (5) ans, les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels prennent en charge l'ancienneté des installations industrielles en déterminant une tolérance pour les rejets d'effluents liquides industriels émanant de ces installations. Ces valeurs sont fixées et annexées au présent décret.

Pour les installations pétrolières, le délai est de sept (7) ans conformément aux dispositions législatives en vigueur, et notamment celles de la loi n° 05-07 du 19 Rabie El Aouel 1426 correspondant au 28 avril 2005, susvisée,

En outre et en raison des particularités propres aux technologies utilisées, des tolérances particulières aux valeurs limites sont également accordées selon les catégories industrielles concernées. Ces tolérances sont annexées au présent décret.

SECTION 2

DES PRESCRIPTIONS TECHNIQUES RELATIVES AUX REJETS D'EFFLUENTS LIQUIDES INDUSTRIELS

Art. 4. — Toutes les installations générant des rejets d'effluents liquides industriels doivent être conçues, construites et exploitées de manière à ce que leurs rejets d'effluents liquides industriels ne dépassent pas à la sortie de l'installation les valeurs limites des rejets définies en annexe du présent décret et doivent être dotées d'un dispositif de traitement approprié de manière à limiter la charge de pollution rejetée.

Art. 5. — Les installations de traitement doivent être conçues, exploitées et entretenues de manière à réduire à leur minimum les durées d'indisponibilité pendant lesquelles elles ne peuvent assurer pleinement leur fonction.

Si une indisponibilité est susceptible de conduire à un dépassement des valeurs limites imposées, l'exploitant doit prendre les dispositions nécessaires pour réduire la pollution émise en réduisant ou en arrêtant, si besoin, les activités concernées.

SECTION 3

DU CONTROLE DES REJETS D'EFFLUENTS LIQUIDES INDUSTRIELS

Art. 6. — Au titre de l'autocontrôle et de l'autosurveillance les exploitants d'installations générant des rejets d'effluents liquides industriels doivent tenir un registre où sont consignés la date et les résultats des analyses qu'ils effectuent selon des modalités fixées par arrêté du ministre chargé de l'environnement et, le cas échéant, du ministre chargé du secteur concerné.

Les mesures sont effectuées sous la responsabilité de l'exploitant et à ses frais dans les conditions fixées par la réglementation en vigueur.

Art. 7. — Les résultats des analyses doivent être mises à la disposition des services de contrôle habilités.

Art. 8. — Les services habilités en la matière effectuent des contrôles périodiques et ou inopinés des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des rejets d'effluents liquides industriels visant à s'assurer de leur conformité aux valeurs limites fixées en annexe du présent décret.

Art. 9. — Le contrôle des rejets comporte un examen des lieux, des mesures et analyses opérées sur place et des prélèvements d'échantillons aux fins d'analyses.

Art. 10. — L'exploitant de l'installation concernée est tenu d'expliquer, commenter ou fonder tout dépassement éventuellement constaté et fournir les actions correctives mises en œuvre ou envisagées.

Art. 11. — Les opérations de contrôle, telles que définies ci-dessus, donnent lieu à la rédaction d'un procès-verbal établi à cet effet.

Le procès-verbal comporte :

— les noms, prénoms et qualité des personnes ayant effectué le contrôle,

— la désignation du ou des générateurs du rejet d'effluents liquides industriels et de la nature de leur activité,

— la date, l'heure, l'emplacement et les circonstances de l'examen des lieux et des mesures faites sur place,

— les constatations relatives à l'aspect, la couleur, l'odeur du rejet, l'état apparent de la faune et de la flore à proximité du lieu de rejet et les résultats des mesures et des analyses opérées sur place,

— l'identification de chaque échantillon prélevé, accompagné de l'indication de l'emplacement, de l'heure et des circonstances de prélèvement,

— le nom du ou des laboratoires destinataires de l'échantillon prélevé.

Art. 12. — Les méthodes d'échantillonnage, de conservation et de manipulation des échantillons ainsi que les modalités d'analyses sont effectuées selon les normes algériennes en vigueur.

Art. 13. — Toutes dispositions contraires au présent décret et notamment les dispositions du décret exécutif n° 93-160 du 10 juillet 1993, susvisé, sont abrogées.

Art. 14. — Le présent décret sera publié au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 avril 2006.

Ahmed OUYAHIA.

ANNEXE I

VALEURS LIMITES DES PARAMETRES DE REJETS D'EFFLUENTS LIQUIDES INDUSTRIELS

N°	PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCES AUX VALEURS LIMITES ANCIENNES INSTALLATIONS
1	Température	°C	30	30
2	PH	-	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
3	MES	mg/l	35	40
4	Azote Kjeldahl	"	30	40
5	Phosphore total	"	10	15
6	DCO	"	120	130
7	DBO5	"	35	40
8	Aluminium	"	3	5
9	Substances toxiques bioaccumulables	"	0,005	0,01
10	Cyanures	"	0,1	0,15
11	Fluor et composés	"	15	20
12	Indice de phénols	"	0,3	0,5
13	Hydrocarbures totaux	"	10	15
14	Huiles et graisses	"	20	30
15	Cadmium	"	0,2	0,25
16	Cuivre total	"	0,5	1
17	Mercure total	"	0,01	0,05
18	Plomb total	"	0,5	0,75
19	Chrome Total	"	0,5	0,75
20	Etain total	"	2	2,5
21	Manganèse	"	1	1,5
22	Nickel total	"	0,5	0,75
23	Zinc total	"	3	5
24	Fer	"	3	5
25	Composés organiques chlorés	"	5	7

PH : Potentiel d'hydrogène

DBO₅ : Demande biologique en oxygène pour une période de cinq (5) jours

DCO : Demande chimique en oxygène

MES : Matière en suspension

ANNEXE II

TOLERANCE A CERTAINES VALEURS LIMITES DES PARAMETRES DE REJETS D'EFFLUENTS
LIQUIDES INDUSTRIELS SELON LES CATEGORIES D'INSTALLATIONS

1 - INDUSTRIE AGRO-ALIMENTAIRE :

a - Abattoirs et transformation de la viande :

PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCE AUX VALEURS LIMITES ANCIENNES INSTALLATIONS
Volume /quantité	m3/t carcasse traitée	6	8
PH	-	5,5 - 8,5	6-9
DBO ₅	g/t	250	300
DCO	"	800	1 000
Matière décantable	"	200	250

b - Sucrierie :

PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCE AUX VALEURS LIMITES ANCIENNES INSTALLATIONS
Température	°C	30	30
PH	-	6-9	6-9
DBO ₅	mg/l	200	400
DCO	"	200	250
MES	"	300	350
Huiles et graisses	"	5	10

c - Levurerie :

PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCE AUX VALEURS LIMITES ANCIENNES INSTALLATIONS
Température	°C	30	35
PH	-	5,5 - 8,5	6,5 - 8,5
DBO ₅	mg/l	100	120
DCO	"	7 000	8 000
MES	"	30	50

d - Brasserie :

PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCE AUX VALEURS LIMITES ANCIENNES INSTALLATIONS
Température	°C	30	30
PH	-	5,5 - 8,5	9 – 10,5
DBO ₅	g/t de malt produit	250	300
DCO	"	700	750
MES	"	250	300

PH : Potentiel d'hydrogène

DBO₅ : Demande biologique en oxygène pour une période de cinq (5) jours

DCO : Demande chimique en oxygène

MES : Matière en suspension

e - Corps Gras :

PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCE AUX VALEURS LIMITES ANCIENNES INSTALLATIONS
Température	°C	30	30
PH	-	5,5 - 8,5	6-9
DBO ₅	g/t	200	250
DCO	"	700	800
MES	"	150	200

2 - Industrie de l'Energie :

a - Raffinage de pétrole :

PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCE AUX VALEURS LIMITES ANCIENNES INSTALLATIONS
Débit d'eau	m ³ /t	1	1,2
Température	°C	30	35
PH	-	5,5 - 8,5	5,5 - 8,5
DBO ₅	g/t	25	30
DCO	"	100	120
MES	"	25	30
Azote total	"	20	25
Huiles et graisses	mg/l	15	20
Phénol	g/t	0,25	0,5
Hydrocarbures	g/t	5	10
Plomb	mg/l	0,5	1
Chrome 3+	"	0,05	0,3
Chrome 6+	"	0,1	0,5

b - Cokéfaction :

PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCE AUX VALEURS LIMITES ANCIENNES INSTALLATIONS
DBO ₅	mg/l	30	40
DCO	"	120	200
Phosphores	"	2	2
Cyanures	"	0,1	0,1
Composés d'Azote	"	35	40
Indice Phénols	"	0,3	0,5
Benzène, Toluène, Xylène	"	0,08	0,1
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques	"	0,08	0,1
Sulfure	"	0,08	0,1
Substances filtrables	"	40	50

PH : Potentiel d'hydrogène
DBO₅ : Demande biologique en oxygène pour une période de cinq (5) jours
DCO : Demande chimique en oxygène
MES : Matière en suspension

3 - Industrie mécanique :

PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCE AUX VALEURS LIMITES ANCIENNES INSTALLATIONS
Température	°C	30	30
PH	-	5,5- 8,5	5,5- 8,5
DCO	mg/l	300	350
Cyanure	"	0,1	0,15
Cuivre	"	0,7	1
Nickel	"	0,7	1
Zinc	"	2,5	3
Plomb	"	0,7	1
Cadmium	"	0,5	1
Hydrocarbures	"	15	20
Phénol	"	0,5	1
Métaux totaux	"	20	25

4 - Industrie de transformation des métaux :

PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCE AUX VALEURS LIMITES ANCIENNES INSTALLATIONS
Cuivre	mg/l	1,5	2
Nickel	"	2	2,5
Chrome	"	1,5	2
Fer	"	5	7,5
Aluminium	"	5	7,5

5 - Industrie de minerais non métallique :**a - Céramique :**

PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCE AUX VALEURS LIMITES ANCIENNES INSTALLATIONS
Température	°C	30	30
PH	-	5,5 - 8,5	5,5 - 8,5
DCO	mg/l	80	120
Matière décantable	"	0,5	1
Plomb	"	0,5	1
Cadmium	"	0,07	0,2

b - Verre :

PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCE AUX VALEURS LIMITES INDUSTRIES ANCIENNES
Température	°C	30	30
PH	-	5,5 - 8,5	5,5 - 8,5
DCO	mg/l	80	120
MES	"	0,3	0,5
Plomb	"	0,5	1
Cadmium	"	0,07	0,2
Chrome	"	0,1	0,1
Cobalt	"	0,1	0,1
Cuivre	"	0,1	0,3
Nickel	"	0,1	0,5
Zinc	"	2	5

PH : Potentiel d'hydrogène**DCO :** Demande chimique en oxygène**MES :** Matière en suspension

c - Ciment, plâtre et chaux :

PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCE AUX VALEURS LIMITES ANCIENNES INSTALLATIONS
Température	°C	30	30
PH	-	5,5 - 8,5	5,5 - 8,5
DCO	mg/l	80	120
Matière décantable	"	0,5	1
Plomb	"	0,5	1
Cadmium	"	0,07	0,2
Chrome	"	0,1	0,1
Cobalt	"	0,1	0,1
Cuivre	"	0,1	0,3
Nickel	"	0,1	0,5
Zinc	"	2	5

6 - Industrie de textile :

PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCE AUX VALEURS LIMITES ANCIENNES INSTALLATIONS
Température	°C	30	35
PH	-	6,5-8,5	6-9
DBO ₅	mg/l	150	200
DCO	"	250	300
Matière décantable	"	0,4	0,5
Matière non dissoute	"	30	40
Oxydabilité	"	100	120
Permanganate	"	20	25

7 - Industrie de tannerie et mégisserie :

PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCE AUX VALEURS LIMITES INDUSTRIES ANCIENNES
DBO ₅	mg/l	350	400
DCO	"	850	1000
MES	"	400	500
Chrome total	"	3	4

PH : Potentiel d'hydrogène
DBO₅ : Demande biologique en oxygène pour une période de cinq (5) jours
DCO : Demande chimique en oxygène
MES : Matière en suspension

Annexe

TECHNIQUES ANALYTIQUES

I. Dosage des nitrates : Méthode au réactif Sulfophénique

(Norme AFNOR NF 90 012)

Le dosage des nitrates se fait par colorimétrie dans le visible.

I.1. Réactifs :

- Acide sulfurique (36N).
- Ammoniac.
- Phénol.

I.2. Préparation du réactif sulfophénique :

Dissoudre 12 grammes de phénol dans 140ml d'acide sulfurique dans un bain marie.

I.3. Appareillage :

- Un photomètre UV visible, pour travailler à 440nm
- .

I.4. Mode opératoire :

1. Prendre 5ml de l'échantillon à analyser, le faire évaporer à sec.
2. Laisser refroidir et ajouter 2ml du réactif sulfophénique.
3. Attendre 10minutes, puis ajouter 15ml d'eau distillée et 15ml d'ammoniac qui développe la couleur jaune.
4. Compléter à 50ml avec de l'eau distillée.
5. Effectuer la lecture sur le photomètre à $\lambda = 440\text{nm}$.
6. La teneur en nitrates de l'échantillon est déduite à partir de la courbe d'étalonnage.

II. Dosage des nitrites : Méthode au réactif de Diazotation

(Norme AFNOR NF T 90 013)

II.1. Réactif de diazotation :

- Acide orthophosphorique (H_3PO_4).
- Sulfaniamide ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_2\text{N}_2\text{S}$).
- Dichlorure de N-(1-naphty) éthylène diamine ($\text{C}_{10}\text{H}_7\text{NHCH}_2\text{CH}_2$, 2HCl).

II.2. Préparation du réactif de diazotation :

- A 800 ml d'eau distillée, ajouter 100ml d'acide orthophosphorique concentré, et 40g de Sulfaniamide.
- Après dilution, ajouter 2g de dichlorure de N-(1-naphtyl) éthylène diamine
- Compléter à 1000ml avec de l'eau distillée.

II.3. Appareillage :

- Un photomètre UV visible, pour travailler à 537nm.

II.4. Mode opératoire :

1. Prendre 50ml de l'échantillon à analyser.
2. Ajouter 1ml de réactif de diazotation.
3. Attendre 10minutes pour le développement de la couleur rose.
4. Effectuer la lecture sur le photomètre à $\lambda = 537\text{nm}$
5. La teneur en nitrites de l'échantillon est déduite à partir de la courbe d'étalonnage.

III. Dosage des chlorures : Méthode de MOHR (Norme AFNOR NF T 90 014)**III.1. Principe :**

On fait agir un milieu neutre, une solution de nitrate d'argent sur une prise d'essai connue en présence de chromate de potassium comme indicateur.

III.2. Réactifs :

- Solution de nitrates d'argent à 4,79 g/l.
- Solution de chromate de potassium à 50 g/l.

III.3. Mode opératoire :

- Essai à blanc : le volume de nitrates d'argent nécessaire pour produire des virages sur une eau déminéralisée.
- Prélever 10 ml de l'échantillon à analyser.
- Ajouter 0,1 ml de solution chromate de potassium.
- Doser avec le nitrate d'argent jusqu'à virage de la coloration jaune à une faible teinte brunâtre.

III.4. Expression du résultat :

La teneur en chlorures de l'échantillon est donnée en milligramme d'ion Cl^-/l , suivant l'expression :

$$[(v - b) \times 1000] / (V \times K)$$

v : volume de solution de nitrate d'argent utilisé (ml)

b : volume de solution de nitrate d'argent consommé par l'essai à blanc (ml)

V : volume de la prise d'essai (10 ml)

K : facteur dépendant de la dilution

IV. Dosages des orthophosphates :

Le dosage des orthophosphates se fait par colorimétrie dans le visible.

IV.1. Réactifs :

- Acide sulfurique pur ($d = 1.84$) à 15% environ en volume.
- Acide ascorbique : solution à 50g/l.
- Tartrate de potassium et d'antimoine solution à 2.8g/l.
- Paramolibdate d'ammonium : solution à 40g/l.

V.2. Préparation des réactifs :

- Tartrate de potassium et d'antimoine : solution à 2.8g/l :

Dissoudre 0,28g de tartrate de potassium et d'antimoine ($\text{K}(\text{SbO})$, $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$, $4\text{H}_2\text{O}$) dans de l'eau distillée et compléter à 100ml avec celle-ci.

- Paramolibdate d'ammonium : solution à 40g/l :

Dissoudre 20g de Paramolibdate d'ammonium ($(\text{NH}_4)_6 \text{Mo}_7\text{O}_{24}$, $4\text{H}_2\text{O}$) dans de l'eau distillée et compléter à 500ml avec celle-ci. Filtrer éventuellement. La solution obtenue peut être conservée à 4°C dans un flacon de polyéthylène.

- Acide ascorbique : solution à 50g/l.

Dissoudre 5g d'acide ascorbique dans de l'eau distillée et compléter à 100ml avec celle-ci. Préparer cette solution chaque jour.

- Réactif combiné :

Dans une fiole jaugée de 100ml, mélanger :

- 50ml d'acide sulfurique.

- 5ml de la solution de tartrate.
- 15ml de la solution de paramolybdate d'ammonium

Compléter au volume avec de l'eau distillée, Ce réactif peut être conservé à 4°C.

IV.3. Appareillage :

- Un photomètre UV visible, pour travailler à 700nm
- Cellule de dosage.
- Verrerie courante de laboratoire : doit être lavée à l'acide chlorhydrique et rincée à l'eau distillée.

IV.4. Mode opératoire :

1. Vérifier le pH de l'échantillon qui doit être compris entre 2 à 7, l'ajuster si nécessaire.
2. Introduire 20ml de d'échantillon à analyser ou solution étalon dans une fiole jaugée de 25ml.
3. Ajouter 1ml de solution d'acide ascorbique, agiter, puis ajouter 4ml de réactif combiné, mélanger soigneusement.
4. Attendre 30minutes le développement et la stabilisation de la coloration bleue.
5. Effectuer la lecture sur le photomètre à $\lambda = 700$ ou 880nm.
6. La teneur en orthophosphates de l'échantillon est déduite à partir de la courbe d'étalonnage, et exprimée en milligramme par litre de phosphore.

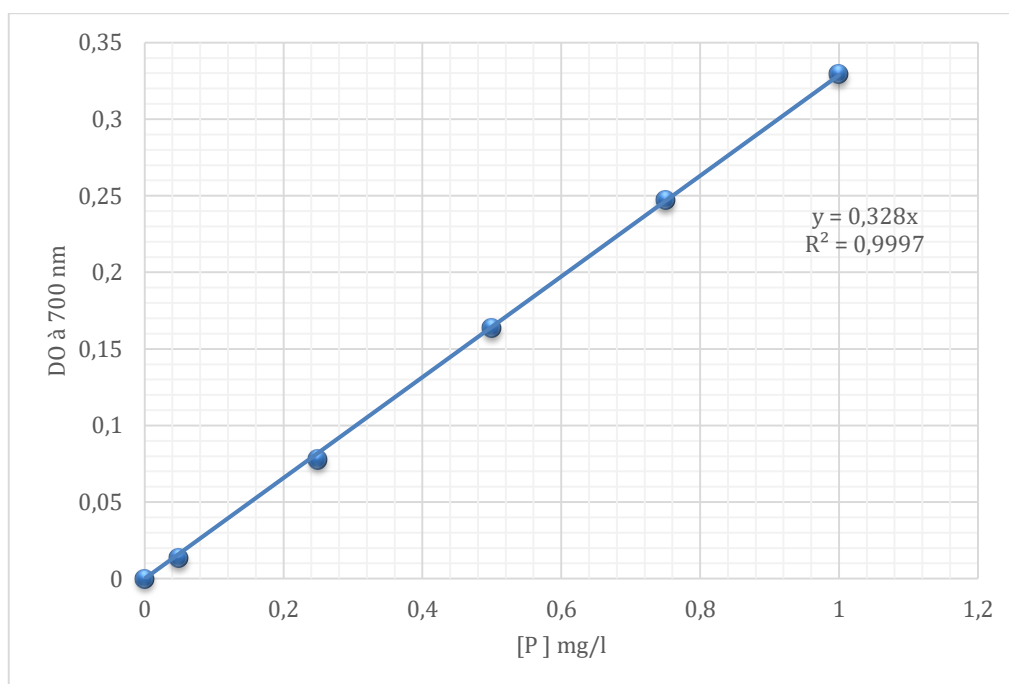


Figure 1 : Courbe d'étalonnage du phosphore

V. Dosage de la demande chimique en oxygène DCO :

V.1. Appareillage :

- Un photomètre UV visible, pour travailler à 600 nm.

V.2. Réactif de digestion :

- Dissoudre 10.216g de $K_2Cr_2O_7$, préalablement chauffé à 103°C pendant 2h, dans 500 ml d'eau distillée.
- Ajouter 167 ml de H_2SO_4 concentré + 33.3 $HgSO_4$, dissoudre à température ambiante et diluer à 1000 ml avec de l'eau distillée.

V.3. Réactif d'acide sulfurique :

Ajouter Ag_2SO_4 à H_2SO_4 concentré avec un taux de 5.5g de Ag_2SO_4 /kg H_2SO_4 .

V.4. Mode opératoire :

1. Prendre 1.5 ml de réactif de digestion + 3.5 ml de d'acide sulfurique dans des tubes spécifiques, après le mélange les tubes doivent être immédiatement bien fermés afin d'éviter toute évaporation suite à un fort échauffement dû à une réaction exothermique.
2. Bien mélange les tubes au vortex, et les laisser refroidir.
3. Mettre le bloc chauffant en marche à 148°C,
4. Ajouter 2,5 ml de l'échantillon à analyser pour le tube déjà préparé, fermer le tube et agiter ;
5. Positionner le tube dans le bloc chauffant probablement préchauffé, régler le minuteur sur 120 min.
6. Après minéralisation des tubes échantillon, le bloc s'arrête automatiquement de chauffer.
7. Sortir les tubes, les laisser refroidir ;
8. Effectuer la lecture sur le photomètre à $\lambda = 600nm$.
9. La DCO de l'échantillon est déduite de la courbe d'étalonnage.

VI. Dosage des graisses : Extraction liquide - liquide

Le taux de matière grasse est déterminé par extraction liquide – liquide.

VI.1. Mode opératoire :

- Utiliser une ampoule à décompter de 500ml, y introduire 250ml d'eau usée
- Ajouter 30ml d'hexane ou d'éther de pétrole, boucher l'ampoule et bien mélanger (3 à 5mn) le contenu en dégazant de temps à autre en mettant l'ampoule bouchonnée à l'envers et en ouvrant le robinet orienté vers le haut.
- Laisser sur une potence jusqu'à séparation des deux phases puis évacuer l'eau dans un bécher et mettre en réserve l'hexane chargé de matière grasse.
- Sur cette même eau refaire l'extraction avec 2x15 ml d'hexane pour épuiser la matière grasse.
- Regrouper les 30+15+15ml d'hexane et faire évaporer le solvant dans un rotavapeur jusqu'à ce qu'il ne sente plus l'hexane.
- Le ballon utilisé doit être taré pour pouvoir calculer le % de MG. Le mettre avec son contenu pendant une heure dans une étuve pour finaliser l'évaporation, puis peser et calculer le taux de MG.

VI.2. expression du résultat :

$$MG = (m_1 - m_0) * 100 / 250 \text{ml} \quad (\text{g}/100\text{ml}).$$

m_1 : masse du ballon contenant la matière grasse;

m_0 : masse du ballon vide

Résumé :

L'objectif principal de notre étude est l'application de procédé physico-chimique sur des eaux chargées en phosphates, en utilisant différents précipitants (coagulants) et un floculant. On a appliqué la précipitation et la coagulation-floculation sur une eau synthétisée au laboratoire, Afin de trouver les conditions optimales pour ce traitement, et faire une application directe sur différents rejets : l'eau usée de l'ONA, l'eau de l'abattoir et deux rejets de l'usine de la lessive(OSMOSE).

Premièrement, nous avons traité les rejets par précipitation chimique, En utilisant différents précipitants : Chaux, Chlorure ferrique, Sulfate de fer et Sulfate d'aluminium.

Ensuite, nous avons appliqué le deuxième procédé qui est la coagulation-floculation, ou on a utilisé les mêmes coagulants, et l'alginate comme floculant de sodium.

Les résultats obtenus nous montrent que le traitement réalisé donne un bon taux d'abattement de déphosphatation, même si on a pas atteint les normes des rejets.

Mots clés :

Phosphates, précipitants, coagulants, floculant, coagulation-floculation, précipitation chimique,

Abstract :

The main objective of our study is the application of physicochemical process on water loaded with phosphates, using different precipitants (coagulants) and a flocculant. Precipitation and coagulation-flocculation were applied to a water synthesized in the laboratory, in order to find the optimal conditions for this treatment, and make a direct application on different discharges: the waste water of the ONA, the water of the slaughterhouse and two discharges from the laundry plant (OSMOSE).

First, we treated releases by chemical precipitation, using different precipitants: lime, ferric chloride, iron sulphate and aluminum sulphate.

Then we applied the second method which is coagulation-flocculation, or we used the same coagulants, and alginate as sodium flocculant.

The results obtained show us that the treatment carried out gives a good rate of reduction of dephosphatation, even if we have not reached the standards of rejections.

Keywords : Phosphates, precipitants, coagulants, flocculants, coagulation-flocculation, chemical precipitation