

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE 20 AOÛT 1955 SKIKDA**

**FACULTE DE TECHNOLOGIE**

**DÉPARTEMENT DE GÉNIE DES PROCÉDÉS**



**Mémoire**

**En vue de l'obtention du diplôme de**

**Master 2**

**Filière : Génie des procédés**

**Spécialité : Ingénierie & Gestion de l'Eau**

**Etude de possibilité d'élimination des phosphates à partir  
d'une eau usée**

**Soutenu le ...../06/2023**

**Réalisé par : Fekrache Selma**

**Encadré par : S.Battaz**

**Labed Rania**

**Bouabdallah Manel**

**Année Universitaire 2022- 2023**

## Résumé

---

### Résumé :

Dans ce travail nous avons étudié la déposition du phosphate présent dans une eau usée synthétique, nous avons utilisé comme agent précipitant du sulfate de magnésium  $MgSO_4$  et l'eau de mer.

Le rendement du traitement par déposition était déterminé par une méthode de dosage par le spectrophotomètre UV-VISIBLE.

L'ensemble des résultats montrent que  $MgSO_4$  et l'eau de mer était efficace pour la diminution de la concentration des phosphates de différentes solutions des eaux usées synthétiques.

Les mots clés : déposition, phosphate, eaux usées synthétiques, sulfate de magnésium, spectrophotomètre.

### Abstract :

In this work we have previously studied the precipitation of phosphate present in synthetic wastewater, we used as precipitating agent sulfate de magnésium  $MgSO_4$  and sea water.

The yield of the precipitation treatment was determined by a UV-VISIBLE spectrophotometer assay method.

All the results show that  $MgSO_4$  and sea water was effective in reducing the concentration of phosphates of different wastewater solutions.

**Key words:** precipitation, phosphate, synthetic wastewater, sulfates de magnésium spectrophotometer.

## Résumé

---

### الملخص:

في هذا العول قوًا بدراسة هسبقة لتزسيب الفسفات الوبجد في هيا الصزف الصحي حيث استخذها كيزينات الوعُ يزيم وهاء البجز كعاهل كوا تن تحذيذ غلة هعالجة التزسيب بطزيقة فحص هطياف UV-VISIBLE تظهر جوبع الُتائج اى كيزينات الوعُ يزيم وهاء البجز كأًا فعالا في الحذ هي تزكيز الفسفات هي هحاليل هختلفة لويا الصزف الصحي

الكلمات المفتاحية: التهاطل, الفسفات, هيا الصزف الصُاعي, كيزينات الوعُ يزيم, هقياس الطيف الضئي.

## ***Remerciement***

*Nos remerciements s'adressent d'abord à ALLAH le tout puissant et de m'avoir donnée le courage, la patience et la chance d'étudier*

*Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à ma directrice de mémoire, Madame BATAZ SARA. Je la remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.*

*Nous exprimons toute notre gratitude aux membres de jury qui ont accepté d'évaluer notre travail.*

*Nos remerciements vont aussi à tous(tes) nos ami(e)s, à l'équipe du laboratoire de génie des procédés, université 20 aout 1955.*

***Selma & Rania***

## ***Dédicace***

***Je dédie ce travail à***

***Mes très chers parents***

*Sources inépuisables d'amour, d'affection et de sacrifices. En témoignage de ma reconnaissance pour leur inéluctable patience, leur sacrifice et leur soutien. Toutes les dédicaces du monde ne sauraient exprimer mon profond amour et ma vive gratitude. Je prie Dieu de vous garder en bonne santé pour une longue vie et de m'aider à être toujours votre fierté*

*À mes chers frères, mes chères sœurs, et toute ma petite famille*

*À mon petit frère, (islam) que Dieu te guérisse*

*À mon fiancé, qui m'a toujours encouragé et souhaité la réussite et à toute sa  
famille*

*À ma copine et sœur (Hanan)*

*À mon binôme (Rania) avec lui j'ai passé des meilleurs moments.*

**Selma**

## ***Dédicace***

*Je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je  
n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour et ma reconnaissance :*

*À celle qui m'a donnée la vie, le symbole de tendresse, d'affection, celle qui n'a jamais  
cessé de formuler des prières à mon égard, À mon exemple éternels, ma fierté, ma force,  
celle qui m'a tout appris **mon adorable mère** ... j'avoue que si je suis devenue quelque  
chose aujourd'hui c'est grâce à tes efforts, tes encouragements et tes conseils ; Tu as su  
m'inculquer le sens de la responsabilité, de l'optimisme et de la confiance en soi face aux  
difficultés de la vie. Dieu le tout puissant te préserve, t'accorde santé, bonheur, quiétude  
de l'esprit et te protège de tout mal ; J'espère que votre bénédiction m'accompagne  
toujours.*

*À celui qui ne m'a rien épargné, à celui qui cherchait mon confort et ma réussite, à  
l'homme le meilleur et le plus cher de l'univers : **mon cher père***

*À mes adorable sœurs : **andalib, sara**, la fierté de notre famille, qui était toujours  
derrière moi et qui n'a jamais cessé de me conseiller, encourager et soutenir.*

*À mon soutien et mon espoir dans cette vie : **mon frère taqiy Eddine** ;*

....

---

---

*A mes meilleures amies, Aafa, Ahlem, Mouna, Kwtar, Fayrouz, hadil, Fayrouz, Ines, Selma, otre amitié est un trésor mes chères je vous remercie pour tant de choses ton amitié sincère, ta générosité vous était toujours à mes côtés plus qu'des sœurs. Merci mes meilleures pour l'amitié et pour nos bons moments, nos fous-rires. Je vous souhaite le meilleur.*

*A tous ceux que j'aime, ceux qui m'aiment et me respectent de près ou de loin.*

**Rania**

---

---

---

## Liste des figures

### Liste des figures

Figure I.1 : structure d'un groupe phosphate liés lié à un radical R.....	4
Figure I.2. Les roches phosphatées .....	6
Figure.1.3.La consommation mondiale de phosphate en agriculture 2014 .....	7
Figure I.4. Schéma représentatif de différentes étapes de l'eutrophisation d'un lac .....	12
Figure 1.5. Processus d'eutrophisation des eaux .....	13
Figure 1.6.La structure microscopique des phytoplanctons .....	14
Figure 1.7. Les algues filamenteuses .....	14
Figure 1.8. Eutrophisation de l'algue filamenteuse .....	15
Figure 1.9. La structure microscopique des diatomées .....	15
Figure 1.10. Cours d'eau eutrophisée .....	17
Figure 1.11. Eutrophisation marine .....	17
Figure 1.12. Modélisation de la précipitation de la struvite en fonction du pH. ....	21
Figure 1.13. Déphosphatation .....	25
Figure.I.14. Élimination biologique du phosphore .....	26
Figure II.1 . Les solutions de (NH <sub>4</sub> Cl+NaH <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> +MgSO <sub>4</sub> +NaOH+EDTA) .....	30
Figure II.2. La solution de (NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> +NH <sub>4</sub> Cl) .....	30
Figure II.3. pH mètre.....	30
Figure II.4. La solution de (NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> +NH <sub>4</sub> Cl+MgSO <sub>4</sub> ) .....	31
Figure II.5. La filtration.....	31
Figure II.6. Papier filtre .....	31
Figure II.7. Avant EDTA .....	32
Figure II.8. Après EDTA.....	32
Figure II.9. Avant EDTA .....	33
Figure II.10. Après EDTA.....	33
Figure II.11. La solution de réactif .....	34
Figure II.12. Le spectrophotomètre .....	35
Figure III.1. La courbe d'étalonnage d'ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) .....	37
Figure.III. Le rendement d'ammonium avec MgSO <sub>4</sub> .....	38
Figure.III.3. Le rendement d'ammonium avec l'eau de mer .....	40

---

Figure III.4. La courbe d'étalonnage phosphate.....	41
Figure.III.5. Le rendement de phosphate avec $MgSO_4$ .....	42
Figure.III.6. Le rendement de phosphate avec l'eau de mer .....	43

### Liste des figures

Figure.III.7 : Le rendement des ions magnésium avec $MgSO_4$ .....	44
Figure.III.8 : Le rendement des ions magnésium avec l'eau de mer .....	45
Figure.III.9. Le rendement des ions calcium $Ca^{2+}$ l'eau de mer .....	47
Figure.III.10. Point de charge nulle de l'eau de mer (pH=9, l'eau de mer=11,7) .....	48
Figure.III.11. Point de charge nulle d'eau de mer (pH=9,5, eau de mer=11,7) .....	49
Figure.III.12. Point de charge nulle d'eau de mer (pH=9, eau de mer=17,5) .....	50

---

## Liste des tableaux

### Liste des tableaux

Tableau.I.1. La consommation mondiale de phosphate en agriculture 2014 .....	6
Tableau.I.2.les différents formes végétales et milieux concernés de l'eutrophisation .....	16
Tableau III.1 : Les absorbance .....	37
Tableau.III.2. Le rendement pourcent de l'élimination de $\text{NH}_4^+$ avec $\text{MgSO}_4$ .....	38
Tableau.III.3. Le rendement pourcent de l'élimination de $\text{NH}_4^+$ avec l'eau de mer .....	39
Tableau .III.4. La concentration de phosphates $\text{PO}_4^{-3}$ .....	40
Tableau .III.5. Le rendement pourcent de phosphate avec $\text{MgSO}_4$ .....	41
Tableau .III.6. Le rendement pourcent de phosphate avec l'eau de mer .....	42
Tableau.III.7. Le rendement de magnésium $\text{Mg}^+$ avec $\text{MgSO}_4$ .....	44
Tableau.III.8 Le rendement de magnésium $\text{Mg}^+$ avec d'eau de mer .....	45
Tableau.III.9 Le rendement de calcium $\text{Ca}^+$ avec d'eau de mer .....	46
Tableau.III.10.Les calculs de pH n°1.....	48
Tableau.III.11Les calculs de pH n°2.....	49
Tableau.III.12.Les calculs de pH n°3.....	50



**SOMMAIRE****Résumé****Liste des tableaux****Liste des figures****Introduction générale ..... 1****Partie Bibliographie****Chapitre 1:Généralités sur les phosphates et les méthodes de déphosphatation des eaux usées**

I.1 Introduction .....	3
I.2 Généralités sur les phosphates.....	3
I.2.1 Définition des phosphates .....	4
I.2.2 Origine et formation des gisements du phosphate .....	5
I.2.2.1 Phosphate d'origine sédimentaire .....	5
I.2.2.2 Les phosphates magmatiques ou ignés .....	5
I.2.3 La consommation du phosphate au monde .....	6
I.2.4 l'utilisation de phosphate .....	7
I.3 L'impact des phosphates sur le milieu aquatique.....	9
I.3.1 Source des phosphates dans les milieux aquatique.....	9
I.3.2 L'Eutrophisation .....	10
I.3.2.1 Définition.....	10
I.3.2.2 Processus de l'eutrophisation .....	11
I.3.2.3 Les différentes formes de l'eutrophisation.....	13
I.3.2.3.1 Les algues .....	14
I.3.2.3.2 Les plantes supérieures.....	16
I.3.2.4 Lutte contre l'eutrophisation : les solutions .....	17
I.4. Voies d'élimination des phosphates à partir des eaux usées.....	18
I.4.1 Les traitements physico-chimiques.....	18
I.4.1.1 Précipitation de phosphate.....	18
I.4.1.2. Coagulation-floculation.....	21
I.4.1.3. Filtration membranaire .....	22
I.4.1.4. Échange ionique.....	23

I.4.1.5. Adsorption .....	23
I.4.2. Déphosphoration biologique .....	24
I.5.Conclusion.....	27

**Partie Expérimentale**

**Chapitre 2: Matériels et Méthodes**

II.1.Introduction: .....	28
II.2.L'objectif .....	28
II.3. les produits utilisés .....	28
II.4.Matériels .....	28
II.5.1.La préparation des solutions.....	29
II.5.1 .les calcules .....	29
II.6. Précipitation de phosphate .....	30
II.7.Les paramètres du traitement physico- chimique.....	32
II.7.1.Le paramètre de PH .....	32
II.7.2. Le paramètre d'agitation.....	32
II.8. Les méthodes d'analyses des phases liquide .....	32
II.8.1. analyse de magnésium .....	32
II.8.2. analyse de calcium.....	33
II.7.3. Dosage des phosphates .....	33
II.7.3.1. la préparation de réactif.....	33
II.7.3.2. préparatin des étalons.....	34
II.8. analyse d'ammonium.....	34
II.9. détermination du poit de charge nulle des précipité obtenus .....	35
II.10.Conclusion .....	36

**Chapitre 3: Résultats et discussions**

III.1. Introduction.....	37
III.2. Résultas d'analyse de phase luquide.....	37
III.2.1. Résultats d'analyse d'ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ).....	37
III.2.1.1. Le rendement pourcent de l'élimination de NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> avec MgSO <sub>4</sub> .....	38
III.2.1.2. Le rendement pourcent de l'élimination de NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> avec l'eau de mer .....	39

III.2.2.Résultats d'analyse de phosphates $\text{PO}_4^{-3}$ .....	40
III.2.2.1.Rendement d'élimination des phosphates $\text{PO}_4^{3-}$ avec $\text{MgSO}_4$ .....	41
III.2.2.2.Rendement d'élimination des phosphates $\text{PO}_4^{3-}$ avec l'eau de mer .....	42
III.2.3.Résultats d'analyse du magnésium $\text{Mg}^+$ .....	44
III.2.3.1. Le rendement de magnésium $\text{Mg}^+$ pour essais réalise avec $\text{MgSO}_4$ .....	44
III.2.3.1. Le rendement de magnésium $\text{Mg}^+$ pour essais réalise avec l'eau de mer .....	45
III.2.4. Résultats d'analyses du calcium $\text{Ca}^+$ pour essais avec l'eau de mer .....	46
III.3. Résultat d'analyse de la phase solide .....	47
III.3.1. mesure du poins du charge nulle.....	47
III.3.2.les calcule de pH .....	48
III.3.2.1. Eau de mer N°1 .....	48
III.3.2.2.Eau de mer N°2.....	49
III.3.2.3.Eau de mer N°3.....	50
conclusion .....	51
Conclusion générale .....	52
Référence bibliographique .....	53

# **Introduction Générale**

## **Introduction générale**

---

### **Introduction générale**

L'eau est une source stratégique limitée qui est non seulement indispensable à l'entretien de la vie sur terre, mais aussi d'une importance pour tous les secteurs socioéconomiques. La consommation croissante de l'eau engendre une augmentation des rejets des eaux usées domestiques, provoquant la pollution du milieu récepteur, affectant le bien-être des êtres vivants et altérant l'environnement. De ce fait, un traitement des eaux usées s'avère indispensable pour l'obtention d'un effluent épuré n'engendrant aucune nuisance, ni à la faune, ni à la flore.

Le phosphore est un élément jouant un rôle majeur dans les produits fertilisants et la fabrication de plusieurs produits chimiques. Il provient actuellement presque exclusivement de mines et comme toute matière première fossile, ses réserves sont loin d'être inépuisables. La récupération du phosphore à partir des eaux usées domestiques est un élément clé dans la préservation des réserves de phosphates qui tendent à s'épuiser et dont le prix ne cesse d'augmenter. 20 % de la demande mondiale actuelle en phosphore pourrait être couverte par la récupération dans les eaux usées domestiques.

Dans les unités de dépollution, la déphosphoration des effluents peut se faire de deux manières différentes. D'une part, les procédés biologiques qui font intervenir la suraccumulation du phosphore par des bactéries déphosphatantes au-delà de leurs besoins métaboliques. D'autre part, les procédés basés sur une déphosphatation chimique conduisent à une élimination chimique du phosphore, au moyen de réactifs sels de fer d'aluminium et de calcium, ...) Qui donnent naissance à des précipités, ou complexes insolubles, séparés de l'eau par des techniques de séparation solide-liquide, qui est le procédé adopté dans le cadre de notre présent travail.

La déposition du phosphore contenu dans les effluents a plusieurs chemins, soit il se précipite sous forme de struvite ( $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), de phosphate ammoniac-magnésien, d'apatite ou sous forme d'un phosphate de calcium.

A travers ce travail de fin d'étude, nous proposons en fait deux objectifs : Elimination du phosphore d'un effluent par sa récupération sous une forme d'un précipité de struvite facilement valorisable; et la détermination des conditions expérimentales optimales de la

1

### **Introduction générale**

---

récupération, ainsi la valorisation de cet élément dans la synthèse des engrais valorisable dans le domaine agriculture [1].

Ce mémoire est structuré en trois chapitres :

- \* Le premier chapitre : présent des généralités sur les phosphates et les différentes techniques pour le traitement d'élimination du phosphate des eaux usées
- \* Le deuxième chapitre : est totalement orienté vers l'expérimentation, des échantillons des eaux usées soumis à une déposition pour déterminer les conditions opératoires optimales de récupération et valorisation de phosphates.
- \* Le troisième chapitre : présent les résultats obtenus et leur interprétation.
- \* Enfin nous terminerons par une conclusion générale.

# **Partie**

# **Bibliographie**

# **Chapitre 1**

## **Généralités sur les phosphates et les méthodes de déphosphatation des eaux usées**

**I.1 Introduction**

Le phosphore indispensable à la vie, c'est un élément fondamental du vivant, il est indispensable aux écosystèmes naturels comme à la production agricole. Les activités humaines (agriculture, eaux usées domestique, expansion urbaine, industries) modifient cependant profondément son cycle. Parmi les conséquences, les écosystèmes aquatiques se dérèglent, des algues prolifèrent puis se décomposent en consommant l'oxygène nécessaire à de nombreuses espèces : c'est ce qu'on appelle l'eutrophisation. Par ailleurs, le phosphore n'est pas une ressource renouvelable.

A l'échelle mondiale, les estimations de consommation future prévoient un épuisement des gisements phosphatés d'ici un à deux siècles. Le contrôle des flux de phosphore dans l'environnement s'avère ainsi primordial pour restaurer des milieux dégradés et pour sécuriser la nutrition de l'humanité [2].

**I.2 Généralités sur les phosphates**

La chimie du phosphore est une science très ancienne au vu des diverses propriétés de cet élément : C'est l'un des 19 éléments strictement indispensables à la croissance et au développement de tout être vivant que celui-ci soit du domaine microbien, végétal ou animal. Aucun autre élément de la classification périodique ne semble pouvoir remplacer P dans trois processus spécifiques à la vie : La reproduction les transferts d'énergie et les mécanismes respiratoires. Aucun organisme vivant n'échappe à l'utilisation du phosphore.

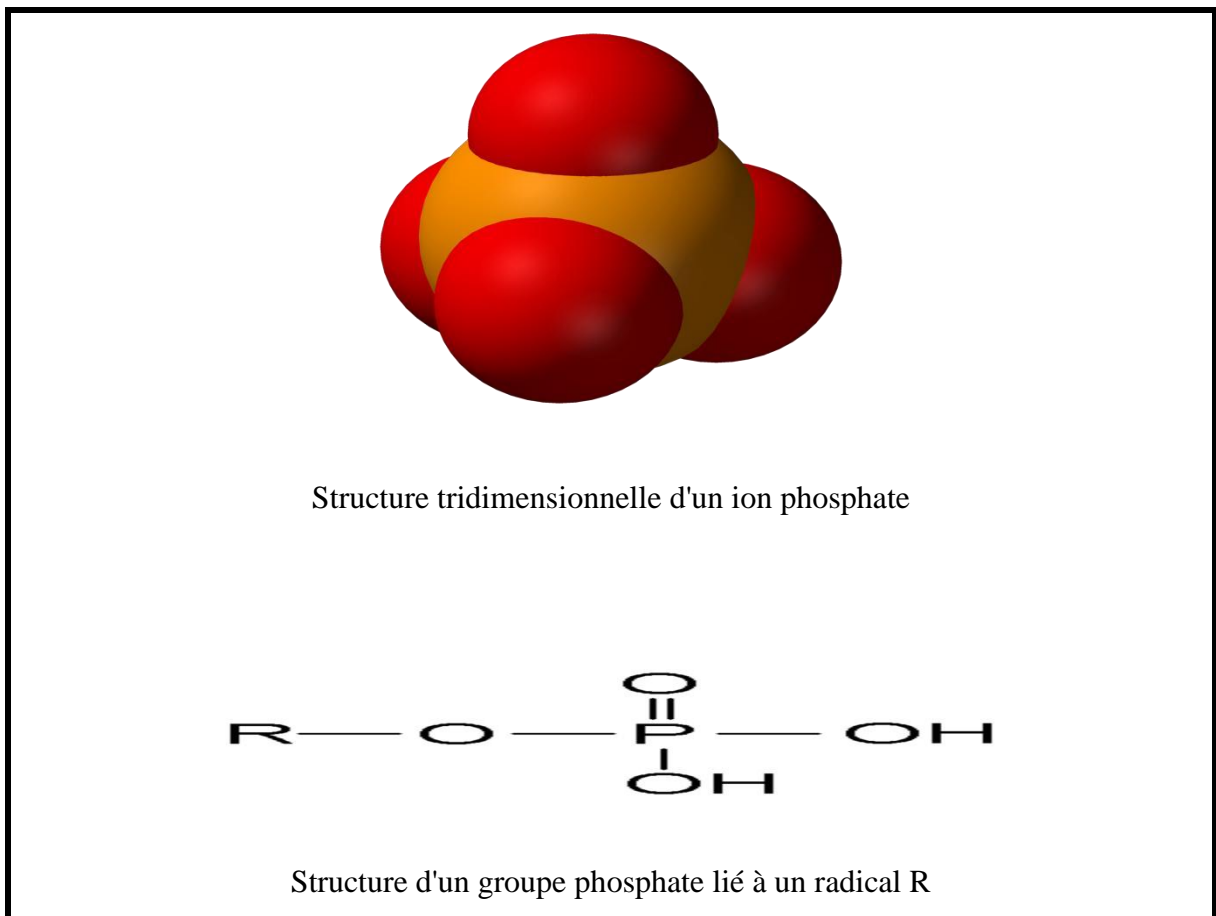
Il est très répandu et se trouve partout dans la nature : Dans les sols et dans les eaux de drainage, soit à l'état de sels minéraux, ou sous forme de combinaisons complexes avec la matière azotée du sol. Le terme phosphate peut être utilisé pour décrire tous les composés qui contiennent la liaison P-O, tandis que les ortho phosphates sont construits à partir de  $\text{PO}_4^{3-}$  ; unité tétraédrique.

Les fonds marins constituent une excellente source de phosphates, on en extrait des roches riches en phosphore qu'on raffine et qu'on épure afin d'obtenir des produits qui serviront d'ingrédients de base dans maintes industries, dont les détergents, les levains, les pâtes de dentifrice, le traitement des viandes et des fromages, le lait concentré non sucré, les boissons non alcooliques, les produits pharmaceutiques, les adoucissants, les engrais etc.

Les principales sources de phosphates pour les engrais sont certaines roches contenant des fossiles d'organismes vivants qui sont composés à 80% d'apatite, le plus souvent sous forme de fluorapatite, chloroapatite, hydroxylapatite  $\text{Ca}(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})(\text{PO}_4)$  [3].

### I.2.1 Définition des phosphates

Un phosphate, en chimie inorganique, est un sel d'acide phosphorique résultant de l'attaque d'une base par de l'acide phosphorique. En chimie organique, c'est un composé organophosphoré dérivé de l'acide phosphorique ; on a parfois de phosphate organique.



**Figure I.1 : structure d'un groupe phosphate liés lié à un radicale R**

Les phosphates sont les formes minérales du phosphore, formés à partir des ions  $\text{PO}_4^{3-}$ , ils sont généralement peu solubles dans l'eau. Les formes hydrogénées  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$   $\text{HPO}_4^{2-}$ , sont beaucoup plus solubles. Les minéraux phosphatés terrestres connus ne comportent que des ortho phosphates (degré d'oxydation du phosphore V). Près de 200 espèces minérales ont été recensées. La forme sous laquelle se trouve le phosphore ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ),

dépend du PH. Dans les eaux naturelles (pH compris entre 5 et 8) on trouve essentiellement les ions ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ) [4].

### **I.2.2 Origine et formation des gisements du phosphate**

Les phosphate naturels tiennent leur source des dépôts des déchets d'espaces marines sur le fond océanique ils sont généralement formés en zone côtière peu profond les gisements exploités dans plusieurs parties du monde, se présentent avec des propriétés chimiques et physiques très contrastée. Selon l'origine géologique, les gisements du phosphate se répartissent en deux groupes : ignée et sédimentaire.

#### **I.2.2.1 Phosphate d'origine sédimentaire**

Cette catégorie de phosphates fournit plus de 85% de la production mondiale. Elle est très répandue et se rencontre dans des étages géologiques très variés, mais tous les gisements recensés ne sont pas nécessairement exploitable à cause de leur situation géographique, leur richesse en phosphate tricalcique et leur dimension. Les travaux à entreprendre pour extraire le minerai et les opérations que ce dernier doit subir pour devenir marchand limitent l'exploitation actuelle des phosphates sédimentaires à un nombre restreint de gisement.

#### **I.2.2.2 Les phosphates magmatiques ou ignés**

Les gisements d'origine ignée sont les moins nombreux actuellement, ils fournissent 12% de la production mondiale de phosphate. Ces gisements contiennent jusqu'à 35 % et 37% de phosphore exprimé en  $\text{P}_2\text{O}_5$ , on les rencontre dans des terrains très anciens où ils peuvent constituer des couches atteignant plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur. Dans ce genre de gisement, le phosphate est sous forme d'apatite bien cristallisée. Si leur richesse élevée en  $\text{P}_2\text{O}_5$  permet d'obtenir aisément du super phosphate (20 % en  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) soluble dans l'eau, leur inconvénient, c'est qu'ils exigent des précautions et des traitements en cours de fabrications et de mûrissement que les phosphates sédimentaires habituels ne réclament pas[5].

Roche Phosphatée : Contexte géologique

Les roches phosphatées se retrouvent dans trois types de contexte géologique

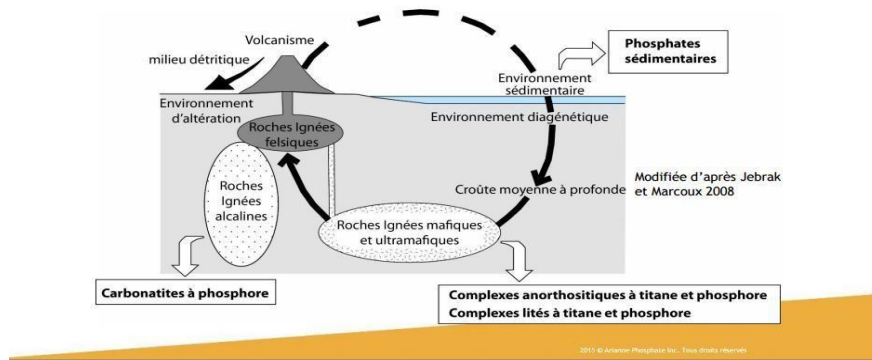


Figure I.2. Les roches phosphatées [11]

I.2.3 La consommation du phosphate au

monde:

Tableau. I.1. La consommation mondiale de phosphate en agriculture 2014

Pays	Valeur de consommation (10 <sup>6</sup> kg)
Chine	11970
Inde	8050
États-Unis	3946
Brésil	3384
Indonésie	1250
Pakistan	761
France	500
Autre	11139

Monde	41000
-------	-------

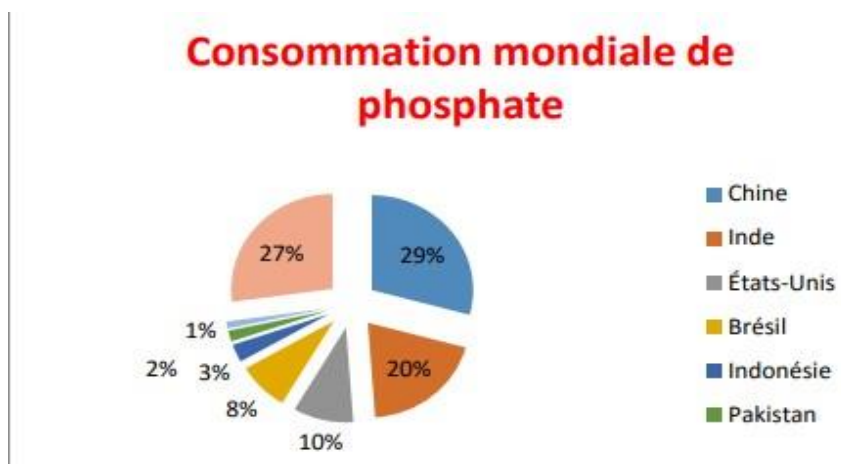


Figure.1.3.La consommation mondiale de phosphate en agriculture 2014[6]

### I.2.4 l'utilisation de phosphate

Les phosphates ont des domaines d'application multiple, ils interviennent dans la biologie, l'écologie, l'alimentation et le secteur industriel.

#### ✚ Dans la biologie

- Ils sont fondamentaux pour le métabolisme et la photosynthèse.
- $P_2O_5$  constitue 28% de l'acide désoxyribonucléique(ADN).
- Les phosphate sont indispensables à la prolifération de certaines bactéries, nous pouvons ainsi contrôler la qualité de ces dernières ; par exemple les salmonelles pour la volaille.
- Des tests sur les lave-vaisselles ont prouvés que les détergents phosphatés détruisent mieux la flore microbienne que ceux qui en sont dépourvus.

#### ✚ Dans l'écologie et hydraulique

- Le processus biologique de la croissance des algues, contribue de façon très importante à la diminution de l'effet de serre.
- Il existe actuellement des stations d'épuration d'eaux résiduaires qui récupèrent les phosphates pour les utiliser comme engrais.

- Les phosphates sont une source de nourriture pour les organismes vivants, tels que les algues, qui servent à leur tour à alimenter les poissons. Ainsi nous pouvons les considérer comme un maillon de chaîne dans l'écosystème.

### ✚ Dans l'alimentation

- Les phosphates sont présents dans les produits alimentaires, ils contribuent ainsi à la croissance humaine.
- Les phosphates maintiennent les protéines des viandes, de volailles, et les fruits de mer ; ils améliorent également la couleur, la texture et la saveur dans certains aliments.
- L'acide phosphorique donne aux boissons carbonatées de la saveur et de la stabilité pour le stockage.

### ✚ Dans l'industrie

Sur le plan industriel, nous retrouvons les phosphates essentiellement dans la fabrication des détergent (tensioactifs). Ils ont une fonction détersive et adoucissante (ils réagissent avec le magnésium contenus dans l'eau).

L'armée l'utilise, également, le phosphore blanc comme munitions. Lors des déversements d'eaux usées le phosphore blanc finit dans les eaux de surface près des usines les utilisant. Le phosphore blanc n'a pas tendance à se répandre car il réagit assez vite avec l'oxygène de l'air. Quand du phosphore se retrouve dans l'air, il réagit en général tout de suite avec l'oxygène pour être transformé en produit moins nocifs. Cependant quand les particules de phosphore sont dans l'air, elles peuvent avoir une couche protectrice qui empêche les réactions chimiques. Dans l'eau, le phosphore blanc ne réagit pas avec d'autres particules aussi vite et, par conséquent, il s'accumule dans le corps des organismes aquatiques. Dans le sol, le phosphore reste pendant plusieurs années avant d'être transformé en substance moins dangereuse et dans les sols profonds et au fond des rivières et des lacs, le phosphore peut rester pendant mille ans ou plus [2].

### I.3 L'impact des phosphates sur le milieu aquatique

#### I.3.1 Source des phosphates dans les milieux aquatique

Les composés phosphorés sont utilisés dans divers domaines. Suivant les différents usages, les origines des phosphates dans les milieux aquatiques sont classées en quatre groupes à savoir :

### ✚ Les phosphates provenant du métabolisme humain :

Un homme excrète entre 1 et 2 grammes de P par jour. Selon Darnat et al. (1994), il s'agit de l'apport principal en phosphore dans les cours d'eau.

### ✚ Les phosphates issus des produits lessiviels :

Les produits lessiviels constituent la principale source de phosphore dans les effluents domestiques. Ils constituent plus de la moitié des phosphates déversés soit 50 à 70 %. Les phosphates utilisés pour la fabrication des détergents sont surtout présents sous forme de tensioactifs ou des anticorrosifs.

### ✚ Les rejets industriels :

Les industries les plus impliquées dans la pollution en phosphate sont donc les usines de fabrication d'engrais, les industries agro-alimentaires et de pâte à papier. Les effluents de ces industries et l'utilisation de leurs productions favorisent donc la dissémination du phosphore dans les systèmes municipaux d'eaux usées, et, par voie de conséquence dans les systèmes hydrologiques de surface.

### ✚ Les rejets agricoles :

Le lessivage des sols agricoles constitue la principale source diffuse des phosphates. Cependant, elle reste minoritaire dans la pollution des plans d'eau en phosphate tant qu'ils reçoivent des apports raisonnables. Ce faible taux est lié à la faible solubilité du phosphore présent dans les sols et particulièrement des formes minérales constituées, par des phosphates de fer et d'aluminium et par l'aptitude des phosphates issus des engrais chimiques (inorganiques) à s'adsorber sur les différents constituants du sol. En revanche, sur les sols sableux, une grande fraction du phosphore soluble est immédiatement lessivée.

La majeure partie du phosphore appliqué comme engrais ou restitué par la décomposition de la matière organique est donc rapidement convertie en formes insolubles. Pour cette raison, on rencontre fréquemment dans les sols agricoles des concentrations de phosphore

dissous inférieures à 0,01mg/L. Il faut cependant noter que l'essentiel du pouvoir adsorbant dû aux particules les plus fines (50µm), peut être remobilisé lors de remaniement des sols par érosion naturelle, défrichage ou terrassement [7].

### **I.3.2 L'Eutrophisation**

#### **I.3.2.1 Définition**

L'eutrophisation est la détérioration d'un écosystème aquatique par la prolifération de certains végétaux, en particulier des algues planctoniques. Le phosphate en excès, rejoint les milieux aquatiques sous forme dissoute dans l'eau du sol ou fixé sur des particules du sol issues majoritairement du ruissellement et de l'érosion. Conjugué à l'excès de nitrates, cet afflux a contribué au développement à partir des années 60, des phénomènes d'eutrophisation des eaux de surface.

On sait qu'un lac est alimenté en matière minérales provenant de l'érosion et de la filtration des eaux par des sols non cultivés. Il reçoit également des eaux résiduaires domestiques et industrielles, des fertilisants agricoles, des résidus d'élevage sans omettre les polluants atmosphériques ramenés aux sols par les pluies. Dans ces apports, le phosphore, l'azote, les oligo-éléments, les vitamines et les facteurs de croissance jouent le rôle de fertilisants vis – à-vis des végétaux aquatiques, notamment du phytoplancton.

Dans des conditions normales, les algues planctoniques se développent en empruntant l'oxygène dissous, l'azote et les phosphates des composés en dissolution. Elles servent de nourriture au zooplancton, lui-même la proie des poissons. Les bactéries de la décomposition, en fin de chaîne, se chargent de convertir les déchets organiques en produits inorganiques (acide carbonique, nitrates et phosphates, etc.)

Un tel cycle est désorganisé lorsque les effluents domestiques et industriels sont déversés de façon répétée et en quantités non contrôlées. Les algues reçoivent un «coup de fouet » et se développent plus vite qu'elles ne sont consommées par la faune. Cet excédent végétale va mourir, se déposer au fond et entre en putréfaction. D'où une D.B.O au détriment de la faune qui est condamnée en une plus ou moins brève échéance. Une vie anormale s'amorce : la faune disparaît, la faune se développe et meurt à son tour, faute de consommateur.

L'eutrophisation, lorsqu'elle se maintient entraîne finalement une absence totale de faune et une prolifération anarchique des algues sur toute la surface de l'eau le long des rives.

L'équilibre de la nature tient à la diversité des espèces. Son déséquilibre est souvent la conséquence du comportement humain et joue un rôle d'alerte du mauvais état de la planète. Réduisant la variété et le nombre des espèces végétales et animales, l'érosion de la biodiversité est préjudiciable à tous les êtres vivants et peut entraîner des catastrophes en chaîne menant jusqu'à l'homme [1].

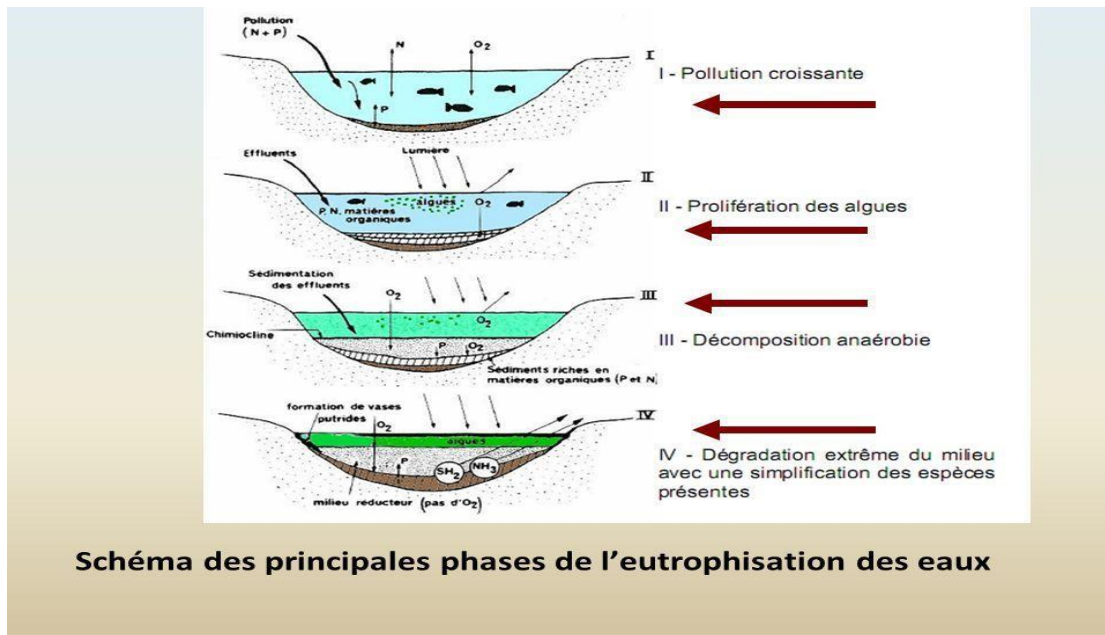
### I.3.2.2 Processus de l'eutrophisation

Voici en résumé les grandes étapes de ce phénomène complexe :

- ✓ Le plan d'eau reçoit des apports en d'éléments nutritifs (particulièrement en phosphore) provenant de sources diverses (naturelles et anthropiques sur une longue ou courte période de temps).
- ✓ L'accumulation des éléments nutritifs dans l'eau provoque, à plus ou moins long terme, une prolifération de plantes aquatique et d'algues dans la couche supérieure du plan d'eau et dans le littoral ce qui réduit considérablement la transparence de l'eau (l'eau devient plus turbide).
- ✓ L'augmentation de la turbidité limite le passage de la lumière à travers la colonne d'eau .La photosynthèse ne peut alors s'effectuer que près de la surface du plan d'eau.
- ✓ Le surplus de matière végétale produit dans l'épilimnion se dépose au fond du plan d'eau, suite à sa sénescence (mortalité).
- ✓ Les décomposeurs utilisent l'oxygène dissous afin de dégrader la matière végétale. Ce qui une provoque une diminution des concentrations d'oxygène dissous en profondeur.

Ainsi, les principales phases successives de l'eutrophisation des eaux peuvent être schématisées comme suit :

- ✓ Pollution croissante,
- ✓ Prolifération des algues,
- ✓ Décomposition anaérobie,
- ✓ Dégradation extrême du milieu avec une simplification des espèces présentes.



**Figure I.4. Schéma représentatif de différentes étapes de l'eutrophisation d'un lac**

On remarque que la première étape n'est pas forcément négative pour le milieu, car celui-ci s'enrichit au niveau de chaque maillon de la chaîne trophique. La seconde étape, par contre, voit une grande partie de la faune disparaître au profit d'organismes dits inférieurs.

Le rythme de développement des différentes phases dépend de l'environnement du plan d'eau : occupation des bassins versants, flux et nature des polluants, luminosité, hydrologie et hydrodynamique, morphométrie, etc.

En cas de prolifération d'espèces phytoplancton que, l'activité photosynthétique est alors très forte, ce qui induit des variations importantes de la concentration en oxygène dissous et du pH dans les systèmes aquatiques à l'échelle de la journée : en période diurne le pH peut dépasser 10 et en période nocturne le milieu peut être totalement anaérobie, ce qui peut porter atteinte à la vie aquatique.

La décomposition de la biomasse phytoplancton ou des macrophytes conduit également à une consommation importante de la concentration en oxygène dissous et peut entraîner un milieu anaérobie dans les systèmes aquatiques, ce qui s'accompagne généralement du développement des odeurs nauséabondes et de mortalité piscicole.

Enfin, dans le cas du développement de cyanobactéries, des risques sanitaires liés à la présence de cyanotoxines sont à craindre. De plus certaines cyanobactéries produisent

également des composés malodorants qui génèrent des nuisances olfactives aux abords des plans d'eau infestés.

- ✓ La raréfaction de l'oxygène dissous de la couche inférieure du plan d'eau occasionne un changement dans la biodiversité des espèces présentes dans le lac (exemple : disparition des espèces de poissons d'intérêt sportif tels que les truites).

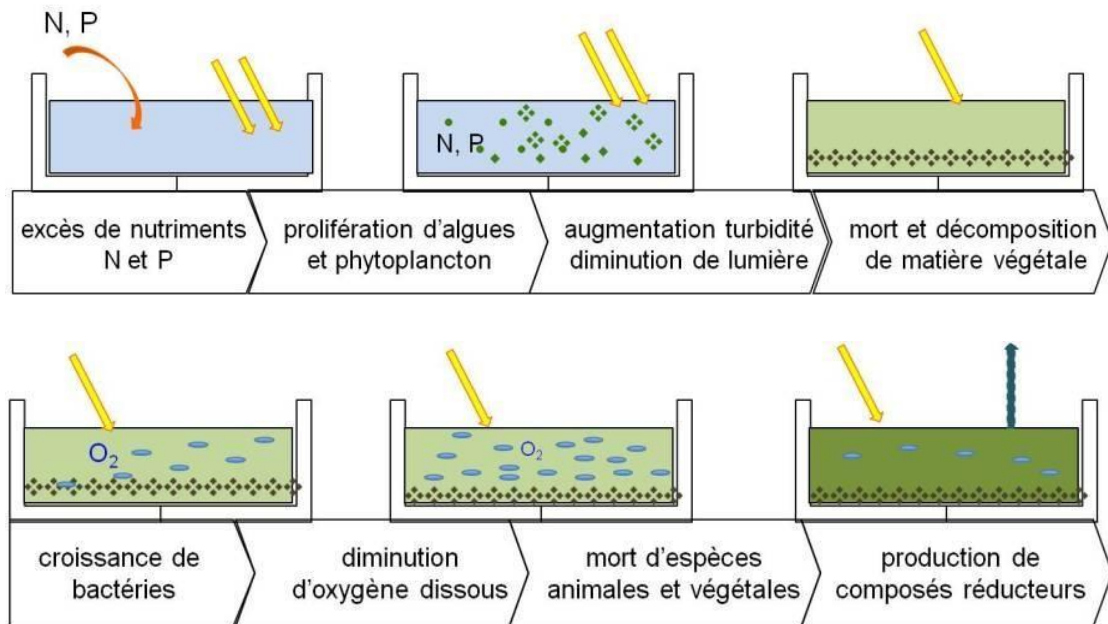


Figure 1.5. Processus d'eutrophisation des eaux

### I.3.2.3 Les différentes formes de l'eutrophisation

Les différentes formes de proliférations végétales sont fonction du type de cours d'eau et de divers, dont la gamme de concentration en phosphore

#### I.3.2.3.1 Les algues et les

##### phytoplanctons

Algues microscopique en suspension dans l'eau, se développant selon un cycle saisonnier, elles donnent au cours d'eau une coloration verte soutenue. Il s'agit de la forme la plus souvent décrite, mais elle n'affecte que les plans d'eau et les cours d'eau lents.



Figure 1.6. la structure microscopique des phytoplanctons

### ✚ les algues filamenteuses

Dans les rivières les plus rapides, à faible profondeur, ce sont plutôt les algues filamenteuses qui prolifèrent. Il s'agit de végétaux vivant en colonies, formant de longues touffes de filaments verts, ondulant dans le courant et couvrant la souvent la totalité du fond.

Elles peuvent connaître un développement très rapide et devenir très envahissantes.



Figure 1.7. Les algues filamenteuses



Figure 1.8. Eutrophisation de l’algue filamenteuse

✚ les diatomées

Les diatomées sont des organismes microscopiques de nature végétale vivant dans L'eau. Ce sont des algues jaunes et brunes unicellulaires. Leur originalité ainsi que leur beauté résident dans le fait que la cellule possède une enveloppe externe, transparente et rigide, souvent délicatement ornementée.

Ce sont des algues microscopiques fixées sur tous supports en milieux de courants forts ou lents. Certaines espèces peuvent former des colonies de couleur brune



Figure 1.9. La structure microscopique des diatomées

Tableau.I.2.les différents formes végétales et milieux concernés de l'eutrophisation

Formes végétal	Aspect	Milieux concernés
Phytoplancton (algues microscopiques en suspension).	Coloration de l'eau (verte, brune, rouge selon les espèces) réduction de la transparence.	Plans d'eau (lacs, lagunes cours d'eau lentes et parfois milieux marin

Diatomées fixées (algues microscopiques).	Dépôt sur le fond des cours d'eau, galets glissants.	Cours d'eau lents ou rapide
Algues filamenteuse fixées	Grandes algues, envahissant parfois tout la masse d'eau. Cladophores: longs filaments de plusieurs mètres	Cours d'eau
Macro algues vertes marines (ulves)	Aspect de laitues	Lagune languedociennes
Végétaux supérieurs (potamots, renoncules, myriophylles, etc.)	Allure de végétaux terrestres	Tronçons de cours d'eau lents à fonds déposés et plans d'eau.

**I.3.2.3.2 Les plantes supérieures**

Très utiles dans le milieu aquatique, la présence de plantes supérieures (macrophytes) est un signe de bon état des cours d'eau. Il arrive cependant que certaines espèces à forte dynamique prolifèrent et deviennent une gêne. Les espèces les plus couramment rencontrées sont les renoncules, les myriophylles, les potamots, les callitriches ainsi que les lentilles d'eau qui peuvent recouvrir entièrement la surface des eaux calmes.[8]



**Figure 1.10. cours d'eau eutrophisé****Figure 1.11.eutrophisation marine**

#### **I.3.2.4 Lutte contre l'eutrophisation : les solutions**

L'eutrophisation d'origine anthropique n'est pas une fatalité. De nombreuses mesures, mises en œuvre en complémentarité et en cohérence, sont susceptibles d'inverser la tendance et même de restaurer certains écosystèmes pourtant sévèrement impactés. Ces mesures sont d'autant plus pertinentes qu'elles participent d'une approche globale visant à une stratégie de développement durable dans tous les domaines de l'activité humaine et de ses impacts environnementaux.

Ce sont, entre autres :

- ✓ une diminution radicale des engrais chimiques et solubles dans l'eau
- ✓ une reconstitution pertinente des systèmes bocagers de haies, talus et autres bosquets et zones tampons qui limitent le ruissellement et retiennent les nutriments
- ✓ une amélioration technologique des stations d'épuration et du traitement des lisiers d'élevage, visant notamment à une meilleure élimination et/ou au recyclage de l'azote et du phosphore... [9]

#### **I.4. Voies d'élimination des phosphates à partir des eaux usées**

##### **I.4.1 Les traitements physico-chimiques**

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

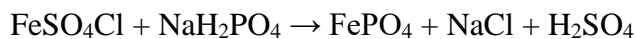
#### **I.4.1.1 Précipitation de phosphate**

La déposition à l'aide d'ajout de produits chimiques est le principal processus commercial pour l'élimination des phosphores dans les eaux. L'obtention d'un précipité avec les orthophosphates s'effectue grâce à un changement de phase au contact d'éléments cationiques, tels que les ions calciums, magnésiums ou ferriques qui sont présents soit dans les eaux causant une précipitation naturelle, soit par l'ajout de réactifs à base d'aluminium (alun, chlorure d'aluminium prépolymérisé et l'alun prépolymérisé), de fer (chlorure ferrique, chlorure ferreux et le sulfate ferreux) ou de chaux permettant une précipitation forcée.

Le traitement du phosphore par précipitation chimiques peut être utilisé séparément ou en complément des techniques biologiques. Dans la chaîne de traitement des eaux usées, cette technique s'applique au niveau du traitement tertiaire.

L'alun aussi réagit dans l'eau et donne de l'hydroxyde d'aluminium qui réagit avec le phosphore soluble. Le sel  $\text{Na}_2\text{OAl}_2\text{O}_3$  est parfois utilisé avec des effluents acides ; sa réaction avec le phosphore libère des OH qui tamponnent le milieu (Cabanès, 2006 ; Coulibaly, 2014).

Les sels de fer généralement utilisés sont le chlorure ferrique ( $\text{FeCl}_3$ ) et le chlorosulfate ferrique ( $\text{FeClSO}_4$  ou Clairtan) qui se présentent sous forme liquide. Les réactions chimiques dominantes entre les ions ferriques et les phosphates sont (Deronzier et Choubert, 2004) :



Le cation métallique  $\text{Fe}^{3+}$  est ajouté sous forme de sel dissous. Lorsqu'il est mis en solution, il s'hydrate en  $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$  puis s'hydrolyse pour former différents complexes monomères, dimères ou trimères selon le PH de la solution  $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ ,  $\text{Fe}_2(\text{OH})_4^{2+}$ ,  $\text{Fe}_3(\text{OH})_4^{5+}$ . L'augmentation du pH entraîne la formation d'un précipité amorphe d'hydroxyde de fer [8].

#### **Procédés de précipitation de la struvite**

La struvite est une substance cristalline blanche, composée de magnésium, ammonium et phosphate dans des concentrations molaires égales ( $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ). La réaction globale de formation est indiquée ci-dessous:

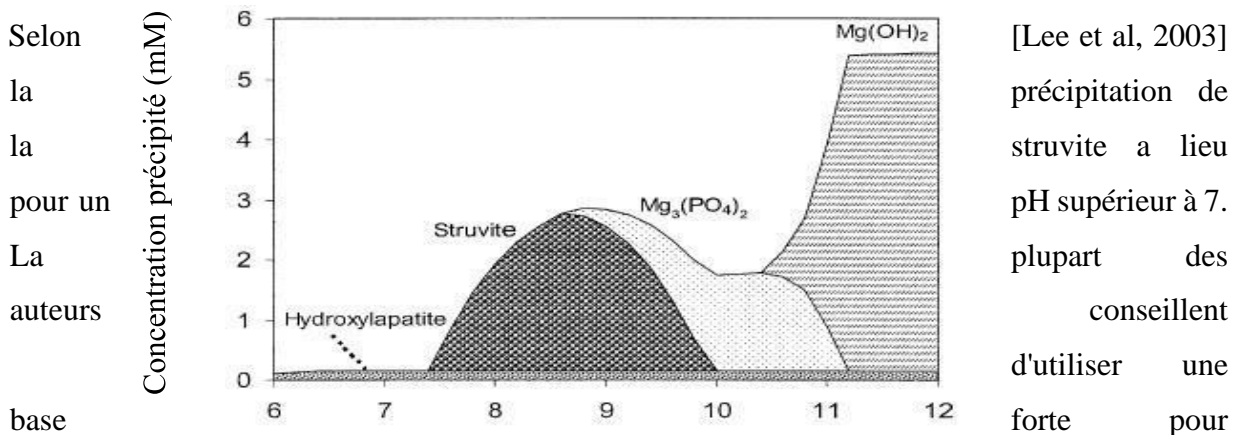


La struvite possède un rapport molaire de  $\text{Mg}^{2+} / \text{PO}_4^{3-} / \text{NH}_4^+ = 1 / 1 / 1$ . Pour qu'une précipitation spontanée de la struvite ait lieu, les différents constituants doivent être présents en solution avec un rapport convenable. Très souvent, la struvite précipite spontanément dans les canalisations entraînant l'obturation et posant un problème dans les stations d'épuration. La précipitation de la struvite permet d'éliminer à la fois le phosphore, une partie de l'azote (sous forme ammoniacale) et le magnésium. L'apparition et le développement des cristaux de struvite suivent deux étapes chimiques : nucléation et croissance. L'étude de ces mécanismes est complexe car ils mettent en jeu une combinaison des facteurs suivants :

- thermodynamique de l'équilibre liquide-solide ;
- phénomènes de transfert de matière entre les phases solides et liquides ;
- cinétique de la réaction ;
- influence de plusieurs paramètres physico-chimiques comme le pH de la solution dans laquelle la struvite peut précipiter, la sursaturation, l'énergie de mélange, la température et la présence des ions « étrangers ». D'autres type de struvites existent où le ( $\text{NH}_4^+$ ) est substitué par du potassium ( $\text{K}^+$ ) ou du nickel ( $\text{Ni}^{2+}$ ). Ces types de cristaux sont plus rares dans les stations de traitement des eaux usées. La quasi-totalité des études de la littérature s'accorde sur le fait que le pH est un facteur très important pour la solubilité de la struvite. On peut cependant noter des écarts importants selon les sources bibliographiques sur la valeur de la constante d'équilibre en phase solide. L'accumulation de struvite sur les parois des tuyaux peut être très importante avec des réductions de diamètre allant jusqu'à 60 %. Plusieurs méthodes pour contrôler la formation de struvite ont été étudiées. On peut citer la dilution des cristaux de struvite avec des effluents de l'eau ou l'addition d'inhibiteurs chimiques. Cependant, ces méthodes sont coûteuses pour des compagnies de traitement d'eaux usées. A titre d'illustration les coûts annuels dus aux dépôts de struvite peuvent représenter 2000 \$ à 10000 \$ selon la taille de l'installation de traitement. L'analyse de la bibliographie met en

évidence que la récupération sous forme de struvite permettra de réduire également les coûts associés aux usines de traitement des eaux, car elle limitera la production de boues lors de la précipitation chimique du phosphore et diminuera ainsi la taille des unités de stockage des boues. Les recherches montrent que plus de 90% du phosphore dissous peut être récupéré du surnageant anaérobie du digesteur, et que la précipitation de struvite permet de récupérer entre 50 et 80% de du phosphore total. En raison de sa basse solubilité dans les solutions de pH neutre, la struvite est un excellent engrais à émission lente et ne provoque pas la brûlure des racines, comme les engrais traditionnels à base de phosphate d'ammonium.

Conditions de précipitation



atteindre ces conditions. [Lee et al, 2003] indiquent que la gamme de précipitation de la struvite se situe entre pour une gamme pH variant entre 7,5 et 10. Le phosphate de magnésium précipite dans une gamme de pH allant de 8,5 à 11, comme le montre la Figure13.

pH de l'effluent (équilibre)

Figure 1.12 : Modélisation de la précipitation de la struvite en fonction du PH. [Lee et al, 2003]

Différents réactifs ont été employés comme source de magnésium. En effet, dans les stations de traitement locales, l'élément limitant la formation de struvite est le magnésium. Le phosphore et l'azote sont habituellement présents dans l'eau des stations d'épuration. C'est la raison pour laquelle, dans une majorité des expériences, les auteurs expliquent qu'il est nécessaire d'ajouter le magnésium pour obtenir la formation de la struvite. L'addition de MgCl<sub>2</sub> conduit à une meilleure efficacité selon les auteurs. La solution est cependant plus onéreuse qu'avec Mg(OH)<sub>2</sub>

: la dissolution de  $MgCl_2$  est plus importante que celle de  $Mg(OH)_2$ , ainsi la plus grande partie du magnésium apporté par ce réactif est disponible pour la formation de struvite. Toutefois, il est important de noter que le prix des réactifs change beaucoup selon les pays, ce qui représente un paramètre important sur le coût de récupération de la struvite. Dans certains cas, des sources à prix réduit de magnésium peuvent être disponibles, comme l'eau de mer utilisée au Japon, ou des sous-produits d'industrie de magnésium de qualité inférieure [10]. **I.4.1.2. Coagulation-floculation :**

L'élimination des composés phosphorés par traitement chimique comprend des opérations de précipitation et/ou coagulation-floculation. Les opérations de coagulation floculation consistent en l'ajout d'un agent coagulant qui provoque l'agglomération des colloïdes en détruisant les forces physiques et électriques qui gardent ces particules séparées les unes des autres et leurs agglomérations en particules plus grosses. Le floculant est un polymère qui emprisonne la matière colloïdale agglomérée et forme ainsi des flocons volumineux qui se déposent par gravité. Il est ajouté après la coagulation pour augmenter davantage la taille et la cohésion des flocons. Les agents chimiques servant de coagulants sont principalement des cations métalliques. Les sels de fer ou d'aluminium sont aujourd'hui les plus fréquemment utilisés (Saad R, 2008 ; Vaillancourt, 2008).

(Youcef, L et Achour, S, 2005) ont testé l'efficacité de la précipitation chimique à la chaux et de la coagulation floculation au sulfate d'aluminium pour éliminer les phosphates.

L'alun réagit dans l'eau et donne de l'hydroxyde d'aluminium qui réagit avec le phosphore soluble. Ce procédé permet de réduire la teneur en phosphore en rendant le phosphore résiduel inaccessible, en le fixant et en le précipitant (Sigg et al, 2000). Le pH de l'effluent à traiter est d'une importance particulière pour la précipitation de l'aluminium. L'efficacité maximale du sulfate d'aluminium se situe aux alentours de pH 5,5-6,5. Cependant, pour une élimination plus efficace, le pH de la solution doit être légèrement supérieur pour anticiper une baisse de pH causée par un excès de sel d'aluminium. Selon (Deronzier et Choubert 2004), plus le rapport molaire Al/P est élevé, meilleur est le rendement. Le sel d'aluminium le plus employé industriellement est le sulfate, qui en précipitant les ions  $HPO_4^{2-}$  donne la réaction suivante :

**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. Le traitement membranaire est très coûteux et n'est pas spécialement utilisé pour l'enlèvement des orthophosphate dans les eaux usées. Il est davantage utilisé dans le traitement d'eau potable. On retrouve aussi des technologies alliant les procédés des boues activées dont la séparation solide-liquide se fait à l'aide d'une membrane (microfiltration) plutôt que d'un clarificateur secondaire. Cependant, le phosphore est majoritairement enlevé par le phosphore particulaire provenant de la matière organique.

(Pierre, A.1992) ont testé l'efficacité d'élimination des phosphates par filtration membranaire.

**I .4.1.4. 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 échangés aux ions phosphate 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.

(Richard B.Hahn et al ,1953) ont décrit une méthode pour la séparation de l'ion phosphorique.

La séparation s'accomplit à l'aide de l'échangeur d'ions "Amberlite IRA-400". La méthode est rapide et il n'y a pas introduction de cations étrangers au cours de la séparation. **I.4.1.5.**

**Adsorption :**

L'adsorption est un phénomène mettant en jeu l'affinité des surfaces d'un adsorbant 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 (Crini et al, 2009). Il ne faudrait pas confondre avec l'absorption qui est l'incorporation d'une substance dans un état à un autre état, c'est-à-dire, un liquide absorbé par un solide ou un gaz absorbé par un liquide. Deux catégories d'adsorption sont distinguées en fonction du type d'interaction mis en jeu (Brient, 2012)

La physisorption, qui est caractérisée par des interactions interatomiques (liaison d'hydrogène), intermoléculaires (interaction de type Van Der Waals) entraînant la fixation de l'adsorbat sur l'adsorbant sans modification des structures moléculaires. Ces interactions, d'une intensité modérée, sont souvent liées aux sites actifs de la surface de l'adsorbant et cette réaction est réversible et permet une accumulation de couches.

La chimisorption est caractérisée par la formation de liaisons chimiques généralement de type covalente entre l'adsorbat et l'adsorbant qui est provoqué par des énergies de liaisons élevées diminuant la réversibilité du processus. Alors, cette interaction se produit par échange électronique entre deux atomes.

(Shanableh et Elsergany, 2013, Ouakouak, 2017, Saad R, 2008) ont testé l'efficacité de l'adsorption pour l'élimination des phosphates sur les argiles. (Leduc JF et al, 2015) a testé l'adsorption des phosphates sur de l'hydrogel de chitosane microsphérique [11]. **I.5.**

### **Déphosphoration biologique :**

Le déphosphatation biologique est basé sur la capacité de certains micro-organismes à accumuler le phosphore au-delà de leur besoin métabolique. Ce métabolisme est connu sous le nom d'EBPR « Enhanced Biological Phosphate Removal ». Les microorganismes assurant la dégradation du carbone et de l'azote intègrent du phosphore à leur matériel cellulaire (structure membranaire, ATP et ARN – Acide Ribonucléique). La partie de phosphore éliminée simplement par cette voie représente environ 25 % de la quantité journalière à dégrader. Afin d'augmenter les performances d'élimination du phosphore, les installations à boues activées réalisent un transfert sous forme particulaire :

\* Soit par précipitation (voie physico-chimique) : l'intégration des agglomérats bactériens sous forme liée ou complexée aux ions contenus dans les eaux usées (calcium, magnésium,

...) ou à des ions métalliques (fer ou aluminium) ajoutés ;

\* Soit par suraccumulation au sein de la biomasse épuratrice (voie biologique) :

L'incorporation dans des longues chaînes de poly phosphates au sein de bactéries déphosphatantes est réalisée grâce à l'alternance des phases aérobie et anaérobie ; \*

Soit par combinaison des deux processus (filère combinée).

Dans les deux cas, le phosphore est ensuite éliminé des installations de traitement via le soutirage des boues.

Le processus d'élimination du phosphore par voie biologique est complexe et reste à ce jour encore non complètement élucidé.

Il nécessite principalement la présence de la matière organique carbonée rapidement biodégradable sous la forme d'acides gras volatils.

Dans le bassin d'anaérobiose, les bactéries déphosphatantes synthétisent des substances de réserve, les poly- $\beta$ -alcanoates (PHA), à partir des substrats facilement biodégradables des eaux usées et de l'énergie libérée par l'hydrolyse intracellulaire de poly-phosphates. Il en résulte un relargage de phosphore dans le milieu externe.

Dans le bassin d'aération, les PHA et la MO contenus dans les eaux usées sont oxydés par les micro-organismes.

La respiration (de l'oxygène) produit l'énergie nécessaire aux bactéries qui régèrent et augmentent leurs stocks de poly-phosphates.

L'élimination biologique du phosphore, est liée à une réabsorption de phosphore plus importante que le relargage.

Plusieurs ouvrages détaillent toutes les étapes inhérentes à la dégradation du phosphore en anaérobie et en aérobie et présentent les particularités de chacun de ces traitements [12].

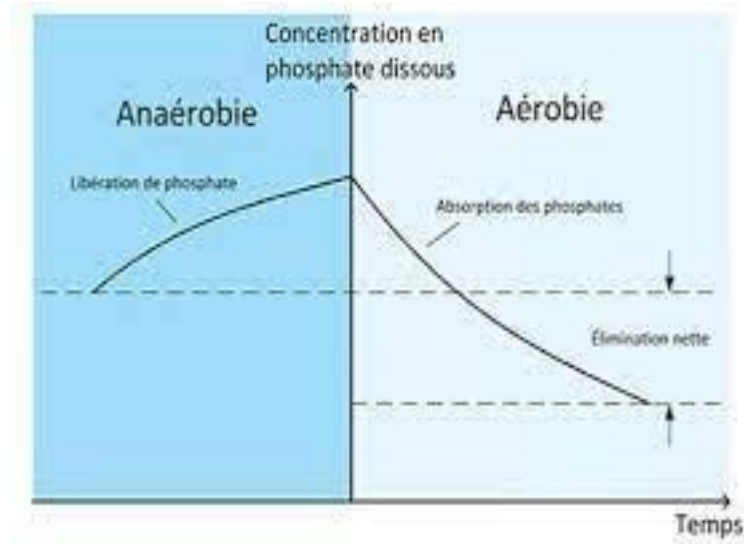


Figure 1.13.déphosphatation

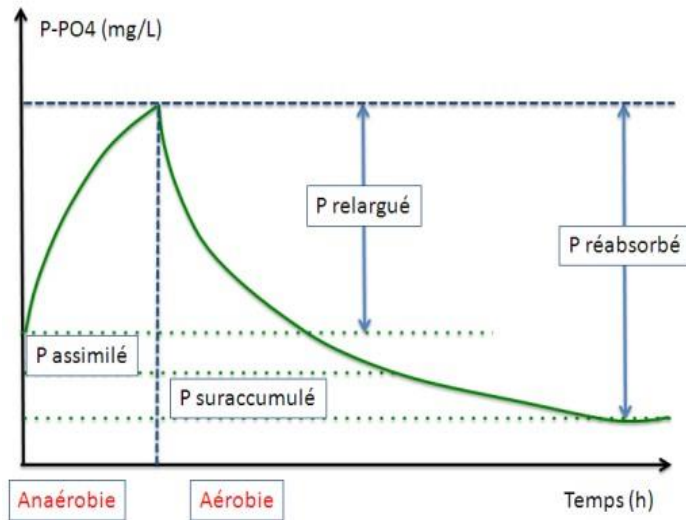


Figure. I.14.Élimination biologique du phosphore

**I.6. Conclusion :**

La principale composante des apports en phosphore au milieu naturel (sols et eaux) dus à l'activité humaine est d'origine agricole du fait de la fertilisation des cultures.

Le phosphore émis dans l'environnement ne se retrouve qu'en partie dans les eaux naturelles principalement du fait de l'exportation par les cultures et de l'adsorption dans les sols du phosphore utilisé pour la fertilisation (engrais, déjection). Suite aux nombreuses hypothèses posées, notamment au niveau du transfert du phosphore d'origine agricole. Il apparaît que le phosphore dans les eaux est principalement d'origine domestique et que celui d'origine agricole ne représente guère plus qu'un quart des apports totaux.



**Partie**  
**Expérimentale**

## **Chapitre 2**

### **Matériels et Méthodes**

**II.1 Introduction :**

La présence des ions phosphate à des concentrations élevées, dans les eaux, favorise le développement des algues, et des effets sur la santé humaine ce qui nécessite leur élimination. Plusieurs méthodes sont utilisées pour l'élimination des ions phosphate des eaux usées, en plus de l'élimination biologique, l'échange d'ion, la précipitation et l'adsorption sur charbon actif, sont en général les méthodes d'éliminations utilisées. L'objectif principal de notre étude est l'élimination du phosphate des eaux usées par des procédés physicochimique testés au sein du laboratoire de génie des procédés d'université de Skikda. Durant notre stage, nous avons suivi les différents paramètres d'analyse du pH et la vitesse de rotation, on a synthétisé une eau usée à partir de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  et  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  pour éliminer les phosphates en ajoutant  $\text{MgSO}_4$  qui donne naissance à un précipité complexe insoluble de phosphate.

La phase liquide obtenue est soumise à plusieurs analyses pour révéler les concentrations des phosphates et d'ammonium et aussi TH (ion magnésium et calcium).

**II.2 les produits utilisés**

- pour l'ajustement du PH ( $\text{NaOH}$  et  $\text{HCl}$ )
- Dosage de la dureté totale de l'eau ( $\text{EDTA}$ )
- Le sulfate de magnésium ( $\text{MgSO}_4$ )
- les chlorures d'ammonium ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ )
- Le phosphate de potassium ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )
- Vanadate d'ammonium ( $\text{NH}_4\text{VO}_3$ )
- Le réactif de Misson (molybdate d'ammonium et l'acide nitrique  $\text{HNO}_3$ )
- Le dihydrogénophosphate de sodium ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ )
- Chlorure de sodium ( $\text{NaCl}$ )
- NOIR ERIOCHROME T (NET)
- Tampon ( $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{NH}_4\text{OH}$ )
- D'hydroxyde de sodium
- Murexide

**II.3 Matériels**

- Des fioles jaugées (fioles 1L, des fioles 500L, des fioles 250L, des fioles de 100L) - Des béchers
- Des pipettes graduées
- Pipette pasteur

- Des entonnoirs
- Une burette
- Des agitateurs magnétiques
- La spectroscopie d'absorption UV
- PH mètre
- Chronomètre
  - Papier filtre
  - Une balance

## II.4 .La préparation des solutions

### 4-1. les calcule

NH <sub>4</sub> CL	⇒	M=53,49g/mol
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	⇒	M=177,99g/mol
NaOH	⇒	M=4g
MgSO <sub>4</sub>	⇒	M=246,47g/mol
EDTA		M=3,7g

NH<sub>4</sub>CL

NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>      n=0, 01 V=100 ml

MgSO<sub>4</sub>

n=C.V

m/M=C.V

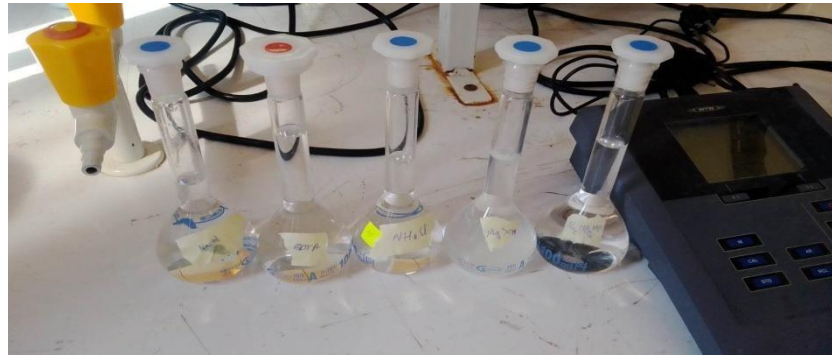
m=C.V.M

m=n.M

$m_{nh_4cl} = C.V.M = 0, 01.53, 49=0,5349g$

$m_{NaH_2PO_4} = C.V.M=0,01.177, 99=1,7799g$

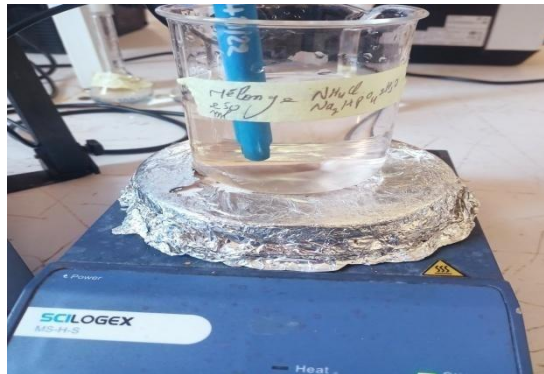
$m_{MgSO_4} = C.V.M=0.01.246, 47=2,4647g$



**Figure II.1. Les solutions de ( $\text{NH}_4\text{Cl}+\text{NaH}_3\text{PO}_4+\text{MgSO}_4+\text{NaOH}+\text{EDTA}$ )**

### II.5 Déposition de phosphate

- Verser 133ml de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  plus 11,7ml  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  dans un bécher et mesurer le pH



**Figure II.2. La solution de ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4+\text{NH}_4\text{Cl}$ )**

- Ajouter  $\text{NaOH}$  pour régler le pH (9 et 9,5)



**Figure II.3. pH mètre**

Ajouter une solution de  $\text{MgSO}_4$  (ou l'eau de mer) -

Après dans une bécher verser les deux solutions -

- Place le bécher sur l'agitateur magnétique et démarrer l'agitation avec vitesse constante à 150 (tour/min) pendant 30min

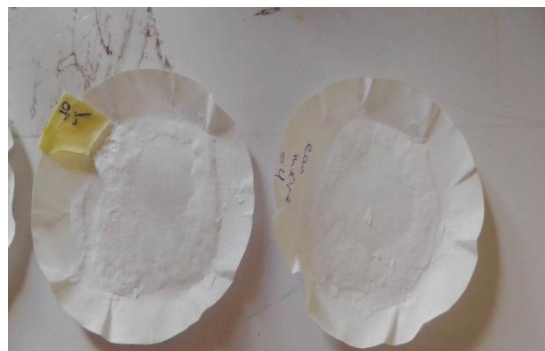


**Figure II.4. La solution de ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4 + \text{NH}_4\text{Cl} + \text{MgSO}_4$ )**

- Un précipité blanc se forme après l'agitation
- A travers un papier filtre on sépare la phase liquide de la phase solide



**Figure II.5. La filtration**



**Figure II.6. papier filtre**

### II.6 Les paramètres du traitement physico-chimique

**II.6.1. Le paramètre de PH**

La potentiel hydrogène, plus connu sous le nom de PH permet de mesurer l'acidité ou la basicité d'une solution.

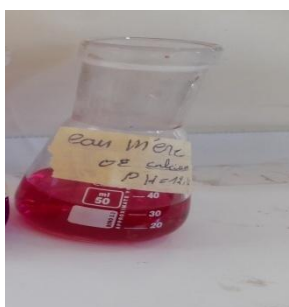
Le résultat d'une mesure de PH est défini par les quantités d'ions  $H^+$  et d'ions  $OH^-$  présentes dans la substance.

**II.6.2. Le paramètre d'agitation**

La vitesse d'agitation est une condition physique qui n'a pas de relation avec la nature chimique de traitement utilisé. Dans le cas d'une solution l'agitation a pour but d'homogène la répartition des différents produits chimiques dans la phase liquide et favoriser leur contact intime.

**II.7 Les méthodes d'analyses des phases liquides****II.7.1 Analyse de magnésium****- Mode opératoire**

On met 25 ml de solution à analyser on ajoute 2,5 ml de solution tampon, puis on ajoute 0,25 ml NOIR ERIOCHROME T (NET) on obtient une couleur rose, et on fait un dosage rapide avec l'EDTA jusqu'à changement de couleur (bleu).

**Figure II.7 : avant EDTA****figure II.8 : Après EDTA****II.7.2 Analyse de calcium****- Mode opératoire**

On met 25ml de solution à analyser avec l'ajout de NaOH jusqu'à PH=12, puis on ajoute quelque goutte d'indicateur (muriexide) jusqu'à obtenir la couleur (rouge) et on fait un dosage rapide avec l'EDTA jusqu'à changement de couleur (couleur bleu mauve).



Figure II.9: avant EDTA

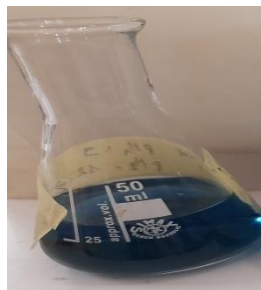


figure II.10: après EDTA

**Remarque :** Il faut de rincer la verrerie avant toute utilisation, la burette est rincée de la solution d'EDTA, le bécher est rincé de l'eau distillée, les pipettes sont toujours rincées avec les solutions que l'on va prélever.

### II.7.3 dosage des phosphates

#### II.7.3.1 Préparation de réactif

##### - Produits utilisés :

Vanadate d'ammonium ( $\text{NH}_4\text{VO}_3$ )

Molybdate d'ammonium ( $\text{MO}_7\text{O}_{24}(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{O}$ )

Acide nitrique concentré ( $\text{HNO}_3$ )

##### -Mode opératoire :

Pour la déposition de la solution pour doser les phosphate on a besoin de :

Solution 1 : 125 ML d'acide nitrique dans 250 ML d'eau distillée.

Solution 2 : dans une fiole de 250 ML on met 0,625g de vanadate d'ammonium dissout dans 125ml d'eau distillée chaude, on laisse refroidir puis on ajoute 10 ml de  $\text{HNO}_3$  concentré et On ajuste le trait de jauge avec l'eau distillée.

Solution 3 : 12,5 g de molybdate d'ammonium des 250ML d'eau distillée.

Dans une fiole de 1L on mélange les 3 solutions et on ajuste le trait de jauge avec l'eau distillée.



Figure II.11 : la solution de réactif

### II.7.3.2 Préparation des étalons

On prépare une solution de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  à une concentration de 0,0357 mol/l

Dans une fiole de 50 ml on met 0,25 ml de solution de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  + 15 ML de la solution (Mélange de  $\text{HNO}_3$  + vanadate d'ammonium + molybdate d'ammonium) et on ajuste le trait de jauge avec l'eau distillée.

On répète la même chose avec 0,5 0,75 1,25 et 0 ML de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$

### II.8 Analyse de l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ )

#### • Pour la courbe d'étalonnage

- Dissoudre 0,03g de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  dans 100 ml d'eau distillée

Prendre de cette solution 1 ML dans une fiole de 50 ML et compléter avec l'eau distillée jusqu'au trait de jauge

- Refaire la même chose avec 0, 2, 4, 8, 10, 12, 15 ml de la solution de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  préparé

- **Pour les 8 échantillons :**

- Prendre 0,5 ML de chaque échantillon dans une fiole de 50 ML et compléter avec l'eau distillée.

- Ajouter pour chaque fiole 1ML de réactif de Nessler dans 25 ML de (la même chose est faite pour les solutions étalons)

- Homogénéiser

- Laisser reposer 5 minutes

- Mesurer les absorbance à 420nm

- **Le spectrophotomètre**

Le spectrophotomètre mesure l'absorbance (A) d'une solution pour une longueur d'onde donnée, il s'appuie sur le fait que toute solution colorée traversée par un faisceau de lumière laisse une fraction de la lumière incidente : la quantité de lumière absorbée est proportionnelle à la concentration du composé coloré recherché .L'absorbance varie en fonction de la concentration en suivant la loi de Béer-Lambert :  $A=k \cdot C$ . Cette formule indique une relation linéaire entre l'absorbance et la concentration ce qui implique que la courbe d'étalonnage est une droite et peut donc être tracée avec un nombre limité de points.



**Figure II.12 : Le spectrophotomètre**

## **II.9 Détermination du point de charge nulle des précipités obtenus**

Six solutions à 0,01 M de NaCl et de pH compris entre 2 et 12 (ajuste par ajout de NaOH ou HCl et contrôle par un PH- mètre multi cal 526) ont d'abord été préparées 0,05 g du précipité est mis en contact avec 50 ml de chaque'une de ces solutions, le mélange est mis sous agitation mécanique pendant 24 heures .on mesure le PH de chaque solution.

Les solutions qui ont été en contact avec un même précipité présentent des valeurs de PH Qui se rapprochent .Le PH pour lequel il n'y a pas eu dévolution après contact avec le Précipité correspond au PH au point de charge nulle.

**II.10 Conclusion**

Dun manière générale l'objectif de ce chapitre est d'étudier un effluent synthétique au niveau de laboratoire pour maitriser le mécanisme de précipitation de phosphate et analyser l'influence de certains paramètres opératoires sur leurs taux d'élimination.



## **Chapitre 3**

### **Résultats et discussions**

**III.1 .Introduction :**

La déposition par l'utilisation des ions magnésium, est un procédés pH de séparation des phosphates des solutions aqueuses existent.

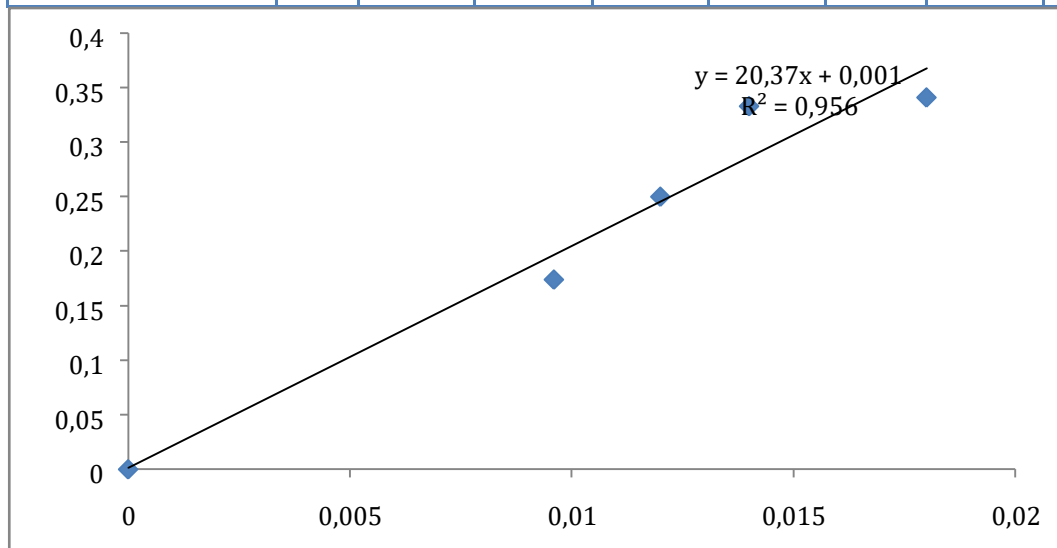
Notre but est de trouve des sources de magnésium moins cher, disponible et surtout le plus efficace dans ce procédé. De plus on a étudié la capacité des échanges cationiques.

**III.2 : Les résultats d'analyse de la phase liquide**

**III.2.1 : Résultats d'analyse d'ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)**

**Tableau III.1 : Les absorbance**

Concentration NH <sub>4</sub> CL	0	0,0012	0,0024	0,0048	0,0069	0,012	0,0144	0,018
Absorbance	0	0,107	0,136	0,226	0,174	0,250	0,333	0,341



**Figure III.1 : La courbe dl'émination d'étalonnage d'ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)**

**III.2.1.1 : Le rendement d'élimination de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> pour les essais réalisés avec MgSO<sub>4</sub> :**

**Tableau.III.2. Le rendement d'élimination pourcent de l'élimination de  $\text{NH}_4^+$  avec  $\text{MgSO}_4$**

	1	2	3	4
Conditions	PH=9, $\text{MgSO}_4=11,7$ (ML)	PH=9,5, $\text{MgSO}_4=11,7$ (ML)	PH=9, $\text{MgSO}_4=17,55$ (ML)	PH=9,5, $\text{MgSO}_4=17,5$ (ML)
Volume de Léau filtre ( $\text{MgSO}_4$ ) (ML)	0,5	0,5	0,5	0,5
Concentration de $\text{NH}_4$ (g/L)	1.78	0.54	1.63	1.10
Rendement de l'élimination de $\text{NH}_4^+$ %	36.65	80.78	41.99	60.81

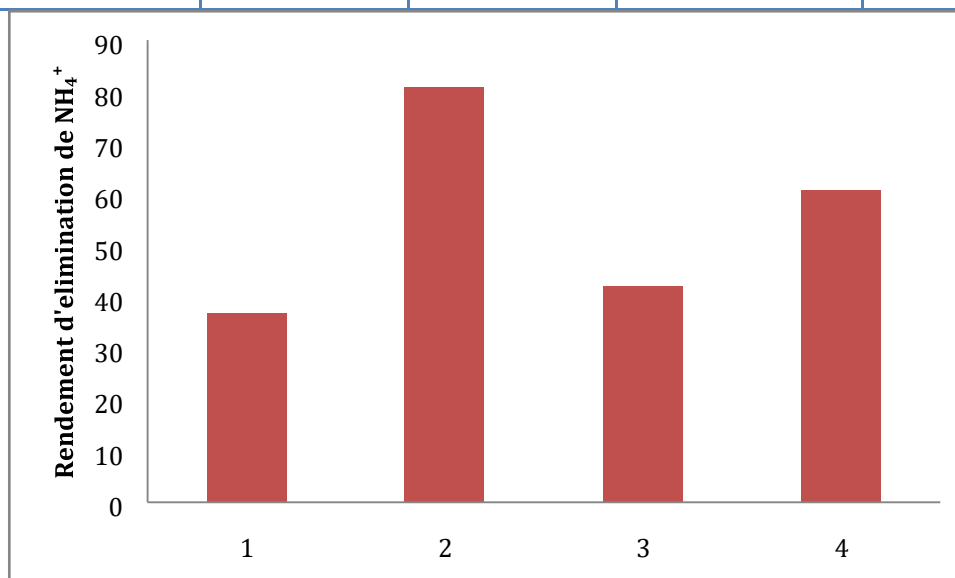


Figure.III.2 : Le rendement d'élimination d'ammonium avec  $MgSO_4$ **Interprétation des résultats**

L'histogramme (figure III.2) présente le rendement d'élimination de l'ammonium après précipitation, Les résultats des essais effectués montrent que le rendement est plus important à  $PH=9,5$ , le  $PH$  est un paramètre très important pour la précipitation.

**III.2.1.2: Le rendement d'élimination de  $NH_4^+$  pour les essais réalisés avec l'eau de mer**

:

**Tableau.III.3. Le rendement d'élimination pourcent de l'élimination de  $NH_4^+$  avec l'eau de mer**

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>conditions</b>	PH=9, Eau de mer =11,7(ML)	PH=9,5, Eau de mer =11,7(ML)	PH=9, Eau de mer =17,55(ml)	H=9,5, Eau de mer =17,5(ml)
<b>Volume de L'eau filtrée (eau de mer) (ML)</b>	0,5	0,5	0,5	0,5
<b>Concentration de <math>NH_4</math> (g/L)</b>	0.59	0.81	0.88	0.84
<b>Rendement de l'élimination de <math>NH_4^+</math> %</b>	78	71	68.55	69.95

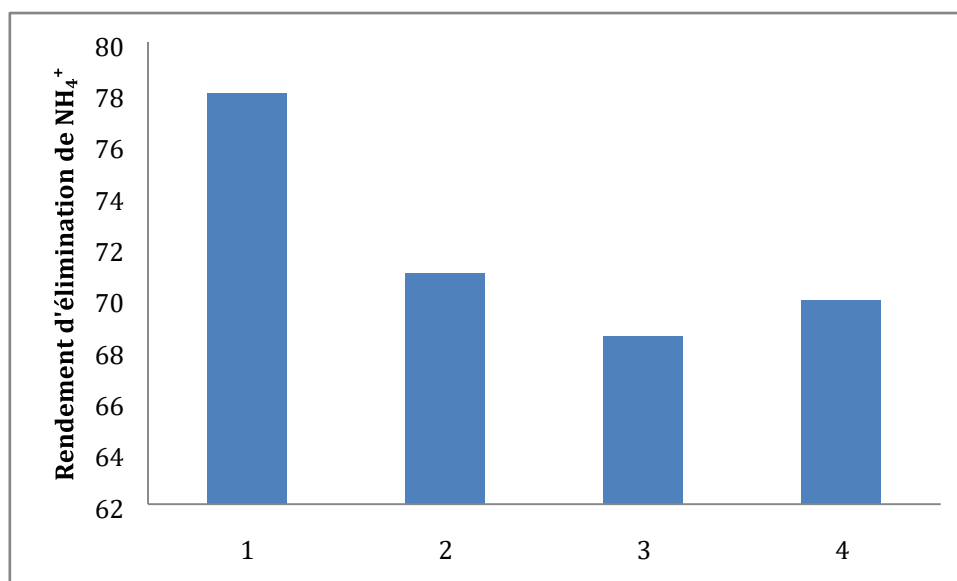


Figure.III.3 : le rendement dl'émination d'ammonium avec L'eau de mer

**Interprétation des résultats :**

L'histogramme (figure III.3) présenté le rendement d'ammonium après la précipitation, réalisée avec l'eau de mer utilisée comme source de magnésium dans ce procédé. En remarque les résultats étaient proches le changement de pH et la quantité d'eau de mer ajoutée n'avait pas un effet remarquable sur l'élimination de l'ammonium **III.2.2 :**

**Résultats d'analyse des phosphates (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) :**

**La courbe d'étalonnage**

Tableau .III.4. La concentration de phosphates PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>

L e concentration de KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0	0,0001785	0,000357	0,0005355	0,0008925
Absorbance	0	0,273	0,507	0,564	0,938

La courbe d'étalonnage

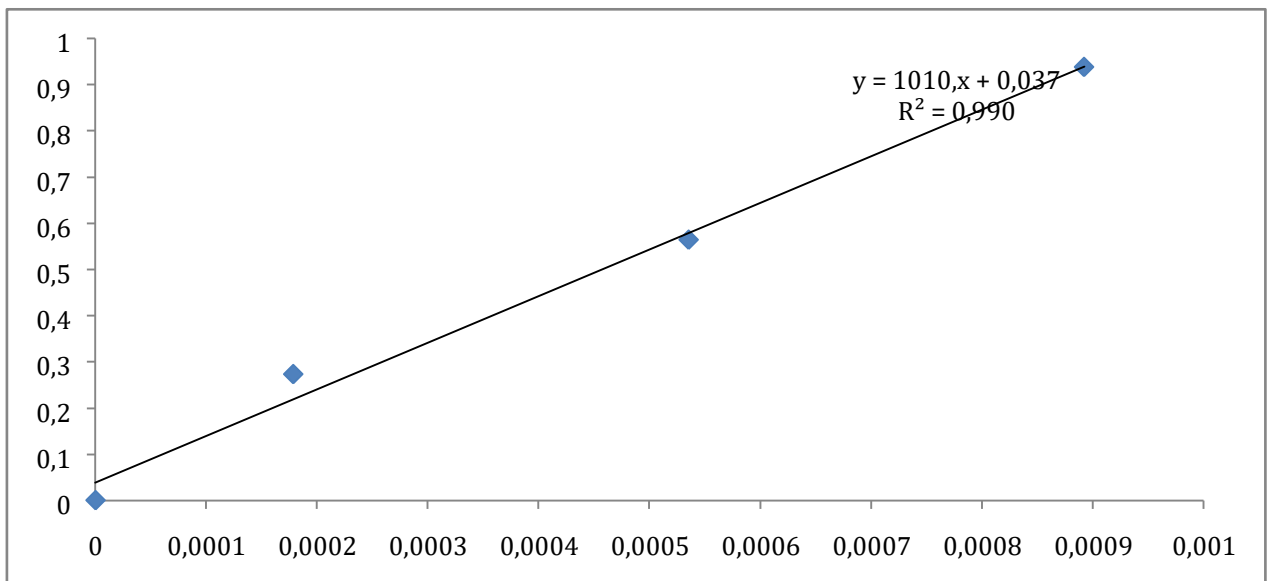


Figure III.4. La courbe d'étalonnage de phosphate  $PO_4^{3-}$

III.2.2.1 : Le rendement d'élimination des phosphates pour les essais réalisés avec  $MgSO_4$ :

Tableau .III.5. Le rendement pourcent de phosphate avec  $MgSO_4$

	1	2	3	
Les conditions	PH=9, $MgSO_4$ =11,7 (ml)	PH=9,5, $MgSO_4$ =11,7 (ml)	PH=9, $MgSO_4$ =17,55 (ml)	PH=9, $MgSO_4$ =17,5 (ml)
Le rendement de $PO_4^{3-}$ (%)	88.87	91.60	91.60	95.00

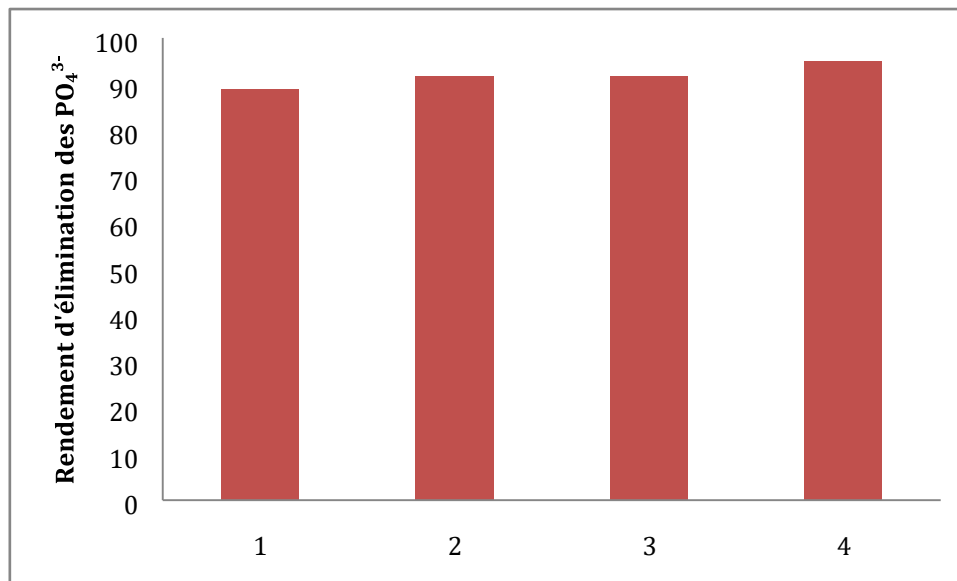


Figure.III.5 : Le rendement dl'émination de phosphate avec MgSO<sub>4</sub>

III.2.2.2 : Le rendement d'élimination des phosphates pour les essais réalisés avec l'eau de mer :

Tableau .III.6. Le rendement dl'émination pourcent de phosphate avec l'eau de mer

	1	2	3	4
Les conditions	PH=9, l'eau de mer =11,7(ML)	PH=9,5, l'eau de mer =11,7(ML)	PH=9, l'eau de mer =17,55(ML)	PH=9, l'eau de mer =17,5(ML)
Le rendement de PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (%)	81.51	85.95	86.69	86.99

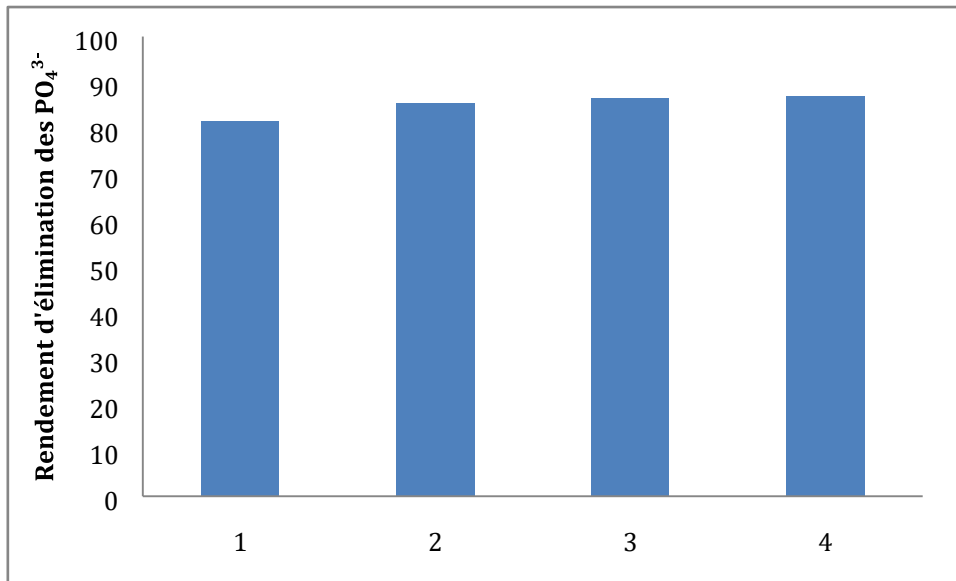


Figure.III.6. : Le rendement d'élimination de phosphate avec L'eau de mer

**Interprétation des résultats**

Les taux de rabattement des phosphates dans tous les essais étaient importants en utilisant l'eau de mer et le MgSO<sub>4</sub>, l'augmentation du pH et de la quantité de magnésium ajouté dans le réacteur à favoriser la précipitation des phosphates. On remarque également que l'eau de mer était légèrement plus efficace.

**III.2.3 : Résultats d'analyse du magnésium Mg<sup>+</sup> :**

**III.2.3.1 : Le rendement d'élimination du magnésium pour les essais réalisés avec MgSO<sub>4</sub>:**

**Tableau.III.7. Le rendement de magnésium Mg<sup>+</sup> avec MgSO<sub>4</sub>**

	1	2	3	4
Les conditions	PH=9, MgSO <sub>4</sub> =11,7 (ML)	PH=9,5, MgSO <sub>4</sub> =11,7 (ML)	PH=9, MgSO <sub>4</sub> =17,55 (ML)	PH=9, MgSO <sub>4</sub> =17,5 (ML)

La concentration de Mg <sup>+</sup> (mg/l)	84	36	36	0
Le rendement de Mg <sup>+</sup> (%)	93.17%	96,06%	96.06%	100%

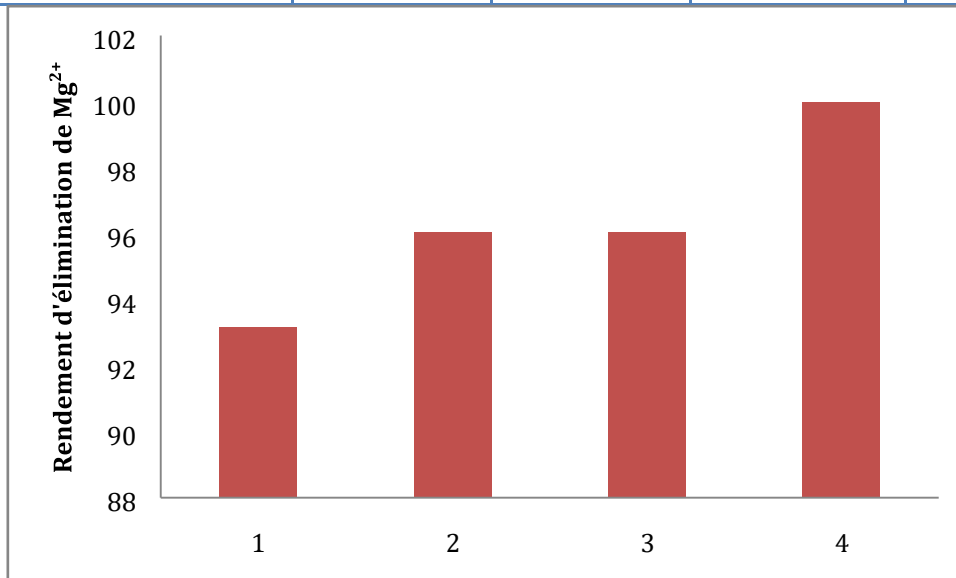


Figure.III.7 : Le rendement d'élimination des ions magnésium avec MgSO<sub>4</sub>

III.2.3.2 : Le rendement d'élimination du magnésium pour les essais réalisés avec l'eau de mer :

Tableau.III.8 Le rendement de magnésium Mg<sup>+</sup> avec d'eau de mer

	1	2	3	4
Les conditions	PH=9, l'eau de mer =11,7 (ML)	PH=9,5, l'eau de mer =11,7 (ML)	PH=9, l'eau de mer =17,55 (ML)	PH=9, l'eau de mer =17,5 (ML)

La concentration de $Mg^{+}$ (mg/l)	192	160	192	192
Le rendement de $Mg^{+}$ (%)	84,99	88,99	89,51	89,51

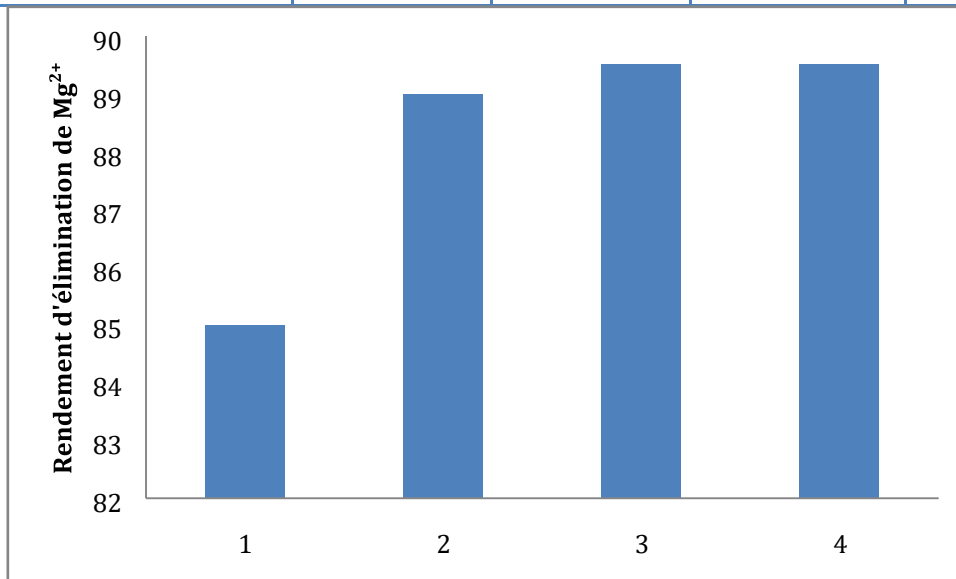


Figure.III.8 : le rendement dl'émination des ions magnésium avec l'eau de mer

**Interprétation des résultats**

L'utilisation (figure: III.8) d'une solution de  $MgSO_4$  ou d'un volume approprié de l'eau mer a permis d'améliorer des conditions de précipitation des phosphates, cette précipitation était accompagnée par la consommation des ions magnésium présents dans le milieu, cela est clairement traduit par les taux de rabattements des ions magnésium à travers tous les essais réalisés, en particulier lorsque l'eau de mer était utilisé comme source de magnésium, ce qui confirme à travers ces essais que l'eau de mer était plus efficace pour la précipitation.

**III.2.4 : Les résultats d'analyses du calcium  $Ca^{+}$  pour les essais réalisés avec l'eau de mer.**

Tableau.III.9 Le rendement d'élimination calcium Ca<sup>+</sup>avec d'eau de mer

Les conditions	PH=9, l'eau de mer =11,7 (ML)	PH=9,5, l'eau de mer=11,7 (ML)	PH=9, l'eau de mer =17,55 (ML)	pH=9, l'eau de mer =17,5 (ML)
La concentration de Mg <sup>+</sup> (mg/l)	40	120	80	80
Le rendement de Mg <sup>+</sup> (%)	92	70.73	80.99	86.99

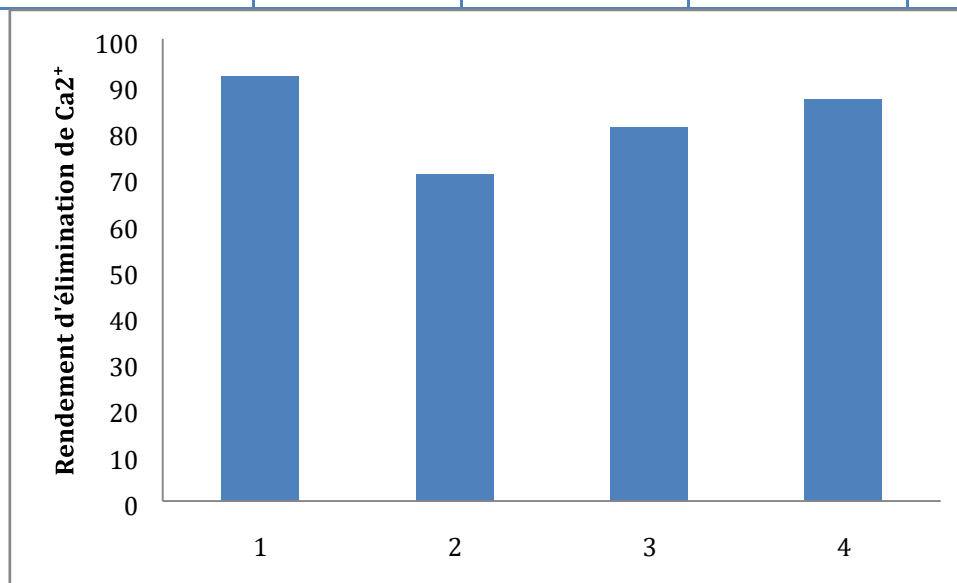


Figure.III.9. le rendement d'élimination des ions calcium Ca<sup>+</sup> l'eau de mère

**Interprétation des résultats**

Les résultats des essais effectués avec l'eau de mer comme source de magnésium montrent que le calcium fournit par l'ajout de l'eau mer a également précipité au même titre que le magnésium, les phosphates et l'ammonium

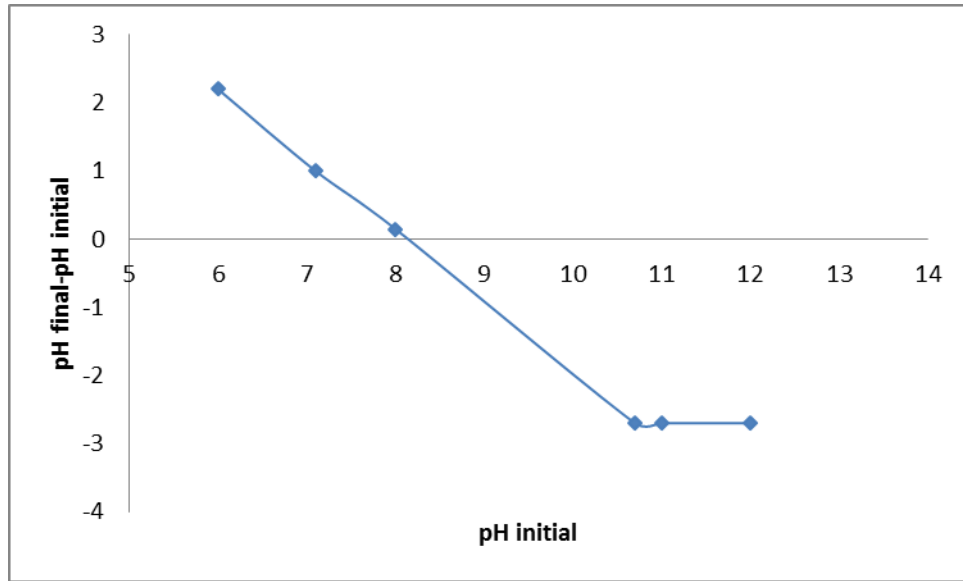
**III.3. Les résultats d'analyse de la phase solide III.3.1.****Mesure du point de charge nulle :**

Le point de charge zéro (ou PZC, acronyme anglais Le point de charge nulle), Dans physique chimie, est la valeur de pH dans laquelle la densité de charge puissance net sur surface est égal à zéro. Elle est liée à la notion de point isoélectrique, dont il diffère lorsque l'adsorption des ions d'une partie de la surface est non nulle.

Il est généralement déterminé par immersion d'un solide dans un électrolyte.

**III.3.2. Les calculs de PH :****III.3.2.1. Eau de mer N°1 :****Tableau.III.10.Les calculs de PH n°1**

N°	1	2	3	4	5	6
pH <sub>initial</sub>	7,1	10,7	11	8	12	6
pH <sub>final</sub>	8,1	8,3	8,3	8,15	9,1	8,2
$\Delta$ pH	1	2,4	2,7	0,15	2,9	2,2



**Figure.III.10. Point de charge nulle de l'eau de mère (PH=9, l'eau de mer=11,7)**

Phosphate récupéré selon la condition I (pH=9, volume d'eau de mer = 1 ml) en utilisant l'eau de mer comme source de magnésium est de 8, ce qui signifie que la surface d'adsorbant est chargée positivement, au pH inférieur à 8 et négativement à un pH supérieur à 8. Plus le pH augmente vers PCN, plus la densité d'ions négative sur la surface de phosphate augmente à son tour et permet de plus l'adsorption des cations.

**III.3.2.2. Eau de mer N°2 :**

**Tableau.III.11. Les calculs de pH n°2**

N°	1	2	3	4	5	6
PH initial	12	11	10,4	9,5	8,2	9,8
PH final	9,1	8,4	8,2	8,1	8,4	8,1

$\Delta pH$	-2,9	-2,6	-2,2	-1,4	0,2	-1,7
-------------	------	------	------	------	-----	------

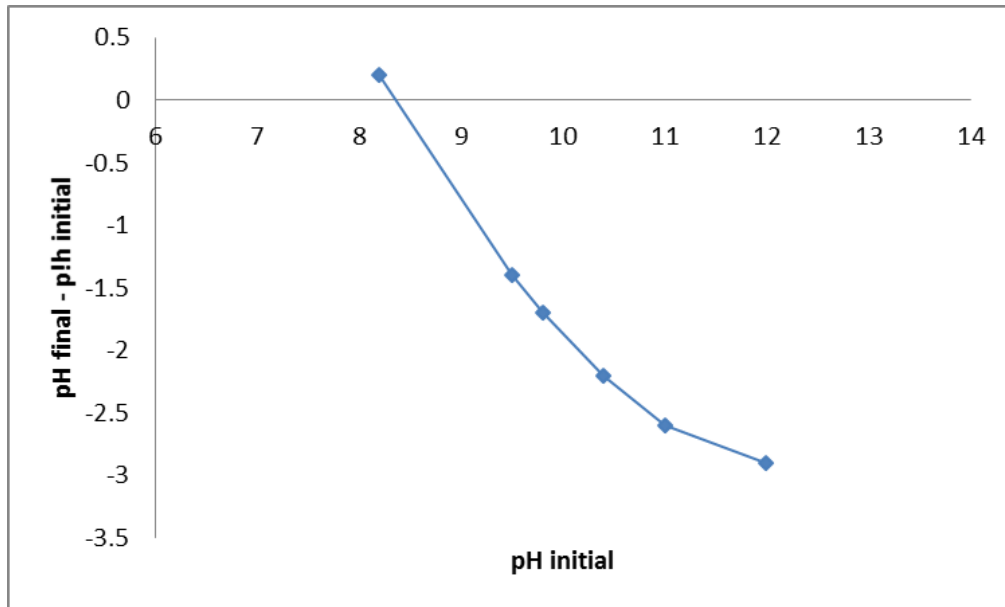


Figure.III.11. Point de charge nulle d'eau de mer (pH=9,5, eau de mer=11,7)

Selon la condition 2 (PH=9.5, volume d'eau de mer = 11ML) en utilisant l'eau de mer comme source de magnésium, le point de charge nulle de ce phosphate récupéré est de 8, ce qui signifie que sa surface est chargée positivement, au pH inférieur à 8 et négativement, au pH supérieur à 8. Plus le pH augmente vers le PCN, plus la densité d'ions négatifs sur la surface du phosphate augmente, permettant ainsi une adsorption accrue des cations.

III.3.2.3. Eau de mer N°3 :

Tableau.III.12.Les calculs de PH n°3

N°	1	2	3	4	5	6
PH initial	11,6	6,5	8,7	9	10	

PH finale	8,7	8,2	8,1	8,2	8	
$\Delta$ PH	-2,9	1,7	-0,6	-0,8	-2	

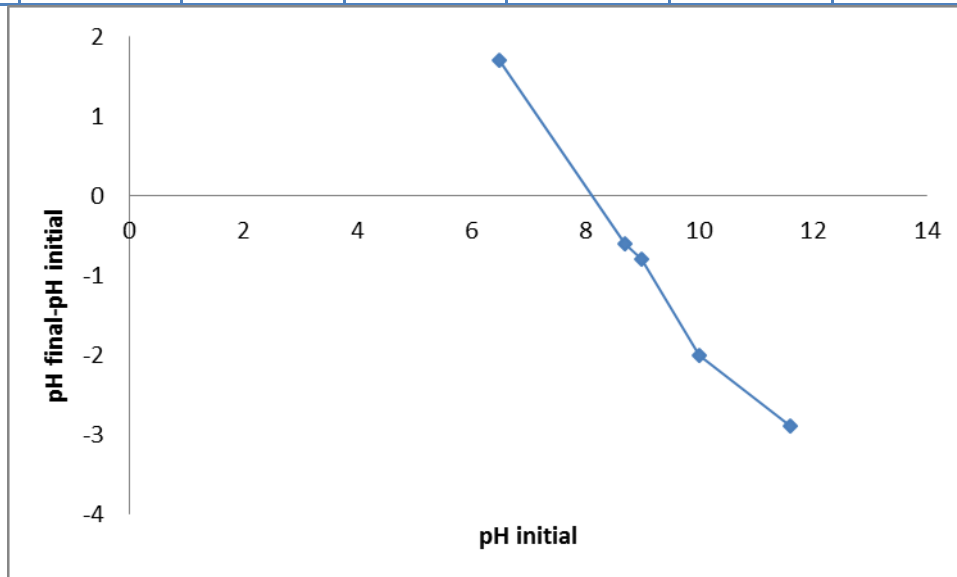


Figure.III.12. Point de charge nulle d'eau de mer (pH=9, eau de mer=17,5)

**Conclusion :**

D'après les résultats obtenus, on peut dire que l'addition de sulfate de magnésium et l'eau de mer conduit à une meilleure efficacité sur le rendement de déphosphoration.

---

# **Conclusion générale**

## **Conclusion Générale**

### **Conclusion générale**

Les eaux usées domestiques étant la principale source d'introduction des phosphates dans le milieu Naturel, leur déphosphatation, est une approche intéressante pour freiner l'eutrophisation

Et protéger les systèmes hydriques. Par ailleurs, il existe plusieurs techniques pour baisser le taux en phosphates des eaux les techniques physicochimiques impliquent la précipitation par les sels métalliques, l'assimilation des phosphates par les bactéries et les plantes constitue la principale technique biologique.

Dans notre travail, nous avons choisi la précipitation par l'utilisation des ions de Magnésium comme une méthode de déphosphatation. Cette méthode permet de récupérer le phosphore contenu dans les effluents avec efficacité.

Le principe de notre travail, c'est de trouver des sources de magnésium disponibles, moins chères et efficaces afin d'éliminer ou bien réduire les concentrations du phosphate dans les eaux usées.

Et nous appuyant sur le côté théorique et pratique de notre mémoire, à travers lequel nous avons abordé les processus de traitement des eaux usées, et nous avons consacré dans nos Travaux ce phosphore présent dans cette eau et comment le réutiliser dans de nombreux

secteurs en utilisant des ressources renouvelables au moindre coût comme l'eau de mer, afin d'atteindre deux objectifs importants et fondamentaux dans notre étude qui reposent sur tout d'abord :

Réutilisation des eaux usées dans de nombreux secteurs, comme l'irrigation et cela inclut le soutien et la protection de l'eau et de l'environnement.

Le deuxième objectif est d'exploiter le phosphore après son extraction et sa valorisation dans le secteur agricole comme engrais.

## **Référence bibliographies**

## Références Bibliographiques

- [1] BESSMA .L. Chaima .R. Traitement des eaux usées par précipitation chimique (élimination des phosphates) Bibliothèque génie des procédés université 20 aout 1955 .2020.P.11.1.
- [2] IBTISSEM .M. Élimination des phosphates dans les eaux usées par précipitation chimique Bibliothèque génie des procédés université 20 aout 1955.2018.P :3.
- [3] IBTISSEM. M. Caractérisation du minerai de phosphate par les méthodes physicochimique Bibliothèque génie des procédés université 20 aout 1955.P :3.
- [4] Djihad .L. Élimination de phosphate par procédé physico-chimique Bibliothèque génie des procédés université 20 aout 1955.2016.P.12.
- [5] [http://archives.UNI\\_biskra.dz/bitstream/123456789/14902/1/Krid\\_chourouk.2020.P.5.6](http://archives.UNI_biskra.dz/bitstream/123456789/14902/1/Krid_chourouk.2020.P.5.6).
- [6] <http://193.68.67.8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/492/TEBBA%20Sofiane%20GMin-Master-%202020.P.6.7>.
- [7] Rime. L. Réduction de phosphate par procédé physico-chimique .2016.P.16.17.18.19.
- [8] Sarra .L. Elimination des phosphates des eaux usées par un traitement physicochimique. Bibliothèque génie des procédé université 20 aout 1955 Skikda. 2016. P.3.6.8.19.
- [9] <https://youmatter.world/fr/definition/eutrophisation-definition-causes-consequencessolution/>
- [10] <http://core.ac.uk/download/pdf/19938646>.Mary.H.Analyse et modélisation de la précipitation de struvite.2011.P.20.21.22.23.
- [11] Youssef .M. Etude du pouvoir adsorbant de la goethite pour éliminer les phosphates Bibliothèque génie des procédés université 20 aout 1955.2018.P.19.20.
- [12] Najete. D .Oumeima. L .Précipitation du phosphate à partir des eaux usées par procédés physico-chimique Bibliothèque génie des procédés université 20 aout 1955.P.20.