

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE EPOPULAIRE**

**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA**

**Faculté des sciences appliquées  
Département de Génie des procédés**



**Mémoire**

**MASTER ACADEMIQUE**

**Domaine : Science et Technique**

**Filière : Science de l'Environnement**

**Spécialité : Génie des procédés de l'Environnement**

**Présenté par : GUESSOUM Ikram**

**GHILANI Cherifa**

**Thème :**

**Élimination des éléments nutritifs par adsorption sur  
une argile de la région de Blidet-Amor**

**Soutenu publiquement le : 26/06/2020**

**Devant le jury composé de :**

**CHAOUKI Mourad  
SIBOUKEUR Hicham  
BEBBA Ahmed Abdelhafid  
SERRAOUI Mabrouk**

**MCA (UKM Ouargla)  
MCA (UKM Ouargla)  
Prof (UKM Ouargla)  
MCB (U. K.M. Ouargla)**

**Président  
Examineur  
Encadreur  
Co-Encadreur**

**Année universitaire : 2020-2021**

## Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à mes chers parents qui m'ont toujours poussés et motivés dans mes études, ce travail représente l'aboutissement du soutien et des encouragements qu'ils m'ont prodigués tout au long de ma scolarité.*

*À mes sœurs Asma, Amina et à mon frère Imad Eddine de m'avoir conseillés, encouragés et soutenus tout au long de mes études. Que Dieu les protège et leurs offre la chance et le bonheur.*

*Et enfin à tous mes amis et personnes qui m'ont aidé.*

*Akram*







## Dédicace

*--A celui qui a transmis le message, rempli la confiance et conseillé la nation, notre maître Mohammed, que Dieu le bénisse et lui accorde la paix.*

*- À celle qui a juré sa vie d'exécuter un message qu'elle a fait de papiers de patience et brodé dans l'obscurité de l'éternité sur la lampe de l'espoir sans apathie ni ennui, un message qui enseigne à donner ce qu'est le don et à apprendre l'accomplissement ce qu'est l'accomplissement.*

*- A toi ma mère je dédie ce message et il y a une différence entre un message et un message, que Dieu te récompense le mieux ; Fatima.*

*- A celui qui m'a appris la parole de mon père Mabrouk, à celui qui a fait le printemps de ma vie, à celui qui m'a appris que les grandes actions ne peuvent s'accomplir qu'avec patience et persévérance, que Dieu le protège et le protège, félicitations .*

*--A mon frère Mohammed al-Azhari, Arafat.*

*--A mes sœurs Raoia, Selsabil et Basmala .*

*--À tous ceux de la main de qui j'ai appris une lettre, et il était une lumière qui dissipe les ténèbres et illumine mon chemin A tous ceux qui m'ont rapproché d'eux, j'ai trouvé en eux affection et fidélité.*

## Cherifa





## Remerciements

*-Je remercie Dieu Tout-Puissant de nous avoir accordé la volonté d'accomplir cet humble travail qui nous a guidé, facilité le chemin et déstabilisé les circonstances qui m'ont permis de porter ce message.*

*-Nos premiers remerciements vont à notre directeur de mémoire, le professeur BEBBA Ahmed Abdelhafid.*

*-Nous le remercions de tous ses efforts pour superviser le travail, sa contribution significative à l'analyse et l'interprétation des résultats, pour la correction du manuscrit et pour des encouragements et conseils qu'il n'a pas donné.*

*-Nous sommes particulièrement reconnaissants au Docteur Serraoui Mabrouk., qui a grandement contribué à la réalisation de ce mémoire.*

*-Nous remercions également le Docteur Labeled Brahim pour l'aide qu'il nous a apporté.*


*-Nous remercions toutes les personnes qui ont acceptées de juger ce travail, en faisant partie du jury, le Docteur CHAOUKI MOURAD pour avoir accepté de présider ce jury, nous remercions de même le Docteur SIOUKEUR Hichem pour avoir accepté de juger ce travail.*

*-Nous exprimons également nos remerciements et notre gratitude à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de cette étude, - Nous remercions le Directeur de la Station des milieux Biophysique Touggourt-Algérie, (CRSTRA) qui nous a autorisé de réaliser la purification de l'argile dans le Laboratoire des eaux et des sols de la station. Nous remercions les travailleurs du centre en général, et je remercie en particulier KHELLOU Miyada, Attachée de Recherche, cette étude est devenue possible grâce à ses efforts pour assurer le succès de ce travail, nous tenons à lui exprimer nos remerciements et notre profonde gratitude.*

*- Nous remercions également le Professeur MESSAITFA Amar directeur du laboratoire et Mlle Ayachi Omar Asma Ingénieur de laboratoire) (Laboratoire Génie de l'Eau et de l'Environnement en Milieu Saharien (LGEEMS)), du Docteur Hammadi Belkaçem et du directeur de la station d'épuration de Said-Otba pour l'aide qu'ils nous ont apportée.*

*- Nous remercions le directeur et les laborantins de la station d'épuration de*

*Touggourt*



## Résumé

Notre étude est basée sur l'utilisation d'une alternative économique pour l'élimination des nutriments par adsorption sur un matériau abondant dans notre région à savoir l'argile de la ville de Blidet Omar. La première partie de notre travail a concerné la purification de l'argile. Nous avons utilisé deux types de tamis dans l'étape de préparation de l'échantillon d'argile, un tamis de 40µm pour obtenir le limon et un tamis de 2µm pour obtenir l'argile purifiée. Une quantité de 25 grammes d'argile pur a ainsi été obtenue. Dans la deuxième partie, nous avons traité les eaux usées issues de la station d'épuration de la ville de Touggourt avec l'argile purifiée afin d'éliminer les nutriments. Des résultats très significatifs ont été obtenus **63,69%** pour l'**ammonium**, **64,28%** pour l'**azote total**, **94,65%** pour les **orthophosphates** et **84,97%** pour le **phosphore total**

**Mots-clés :** eutrophisation, nutriments, azote, phosphore, argile, Blidet-Amor.

## الملخص

تعتمد دراستنا على استخدام بديل اقتصادي للتخلص من العناصر الغذائية عن طريق الامتزاز على مادة وفيرة في منطقتنا ، وهي الطين من بلدة بليدة عمر. يتعلق الجزء الأول من عملنا بتنقية الطين.

-استخدمنا نوعين من المناخل في خطوة تحضير عينة الطين ، منخل 40 ميكرومتر للحصول على الطمي ومنخل 2 ميكرومتر للحصول على الطين المنقى. وهكذا تم الحصول على كمية 25 جرام من الطين النقي.

في الجزء الثاني ، عالجت المياه العادمة من محطة المعالجة في مدينة تقرتباالطين المنقى من أجل إزالة العناصر الغذائية. تم الحصول على نتائج معنوية جدا **63.69%** للأمونيوم ، **64.28%** للنيتروجين الكلي ، **94.65%** للفوسفات و **84.97%** للفوسفور الكلي

**الكلمات المفتاحية:** التخثث ، المغذيات ، النيتروجين ، الفوسفور ، الطين ، بلدة عمر

## Summary:

Our study is based on the use of an economical alternative for the elimination of nutrients by adsorption on a material abundant in our region, namely clay from the town of Blidet Omar. The first part of our work concerned the purification of the clay. We used two types of sieves in the clay sample preparation step, a 40µm sieve to get the silt and a 2µm sieve to get the purified clay. An amount of 25 grams of pure clay was thus obtained. In the second part, we treated the wastewater from the treatment plant in the city of Touggourt with purified clay in order to remove nutrients. Very significant results were obtained 63.69% for ammonium, 64.28% for total nitrogen, 94.65% for orthophosphates and 84.97% for total phosphorus

**Keywords:** eutrophication, nutrients, nitrogen, phosphorus, clay, Blidet-Amor

# Liste de tableaux

<b>N° ta- bleau</b>	<b>Titre de tableau</b>	<b>N° page</b>
<b>I</b>	Comparatif des avantages et des inconvénients entre les méthodes d'élimination du phosphore par voie biologique et par voie chimique	<b>11</b>
<b>II</b>	Différences entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique	<b>28</b>
<b>III</b>	Résultats du traitement en fonction de la vitesse d'agitation	<b>40</b>
<b>IV</b>	Résultats de rendement	<b>40</b>
<b>V</b>	Rendement obtenu pour Ammonium	<b>42</b>
<b>VI</b>	Rendement obtenu pour L'azote total	<b>43</b>
<b>VII</b>	Rendement obtenu pour l'orthophosphate	<b>44</b>
<b>VIII</b>	Rendement obtenu pour le phosphate total	<b>45</b>

# Liste de figures

<b>N° Figure</b>	<b>Titre de figure</b>	<b>N° Page</b>
<b>1</b>	Accumulation intra cellulaire de la matière organique en anaérobiose et de polyphosphates en aérobie	<b>9</b>
<b>2</b>	Processus de dégradation associés à l'élimination de l'azote	<b>15</b>
<b>3</b>	couches tétraédrique & octaédrique	<b>21</b>
<b>4</b>	modèle structurale de kaolinite	<b>22</b>
<b>5</b>	Modèle structural de l'illite	<b>23</b>
<b>6</b>	Image satellite de la ville de Touggourt	<b>34</b>
<b>7</b>	la forme finale d'échantillon d'argile	<b>35</b>
<b>8</b>	Image satellite de la STEP de Touggourt.	<b>36</b>
<b>9</b>	Image satellite de la station de CRSTRA	<b>37</b>
<b>10</b>	Rendement de $\text{NH}_4^+$	<b>41</b>
<b>11</b>	Rendement de NT	<b>41</b>
<b>12</b>	Rendement de PT	<b>41</b>
<b>13</b>	Rendement de $\text{PO}_4^{3-}$	<b>41</b>

## Liste des abréviations

**AGV** : Acides Gras Volatils.

**CRSTRA** : Centre de recherche scientifique et technique sur les régions arides.

**ERU** : Eau Résiduaire Urbaine.

**EUB** : Eau Usée Brute.

**EUT** : Eau Usée Traitée.

**FTIR** : Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier.

**IR**: Infra-rouge.

**ISO**: International Organization for Standardization.

**M<sub>ad</sub>** : Masse d'adsorbant.

**MO** : Matière Organique.

**NF** : Norme Française.

**NGL**: azote global.

**NH<sub>4</sub><sup>+</sup>**: azote ammoniacal.

**NH<sub>3</sub>**: ammoniac.

**Norg**: Azote Organique.

**NT**: azote Total.

**NTK**: azote Kjeldahl.

**O.N.A**: Office Nationale d'Assainissement.

**pH**: potentiel d'Hydrogène.

**PT**: Phosphore Total.

**PHA** : PolyHydroxyAlcanoates.

**PolyP** : PolyPhosphates.

**STEP**: station d'épuration.

**T<sub>c</sub>** : Temps de Contact.

**T-O** : couche tétraédrique et couche octaédrique.

**V<sub>ag</sub>** : Vitesse d'agitation.



## Sommaire

Remerciements .....	I
List des tableaux .....	II
Liste des figures.....	III
Liste des images .....	IV
Liste des abréviations .....	V
Sommaire	
Introduction générale .....	1

### Chapitre : Le phosphorée et azotée.

#### Partie I : Le phosphorée et son élimination.

<b>I-Introduction.....</b>	<b>4</b>
<b>I-1- Nature.....</b>	<b>4</b>
<b>I-2-L'origine.....</b>	<b>4</b>
<b>I-3- Les Forme du phosphore dans les eaux usées.....</b>	<b>5</b>
<b>I-4- Caractérisation.....</b>	<b>6</b>
<b>I-5- Les Normes.....</b>	<b>6</b>
<b>I-6- Les Effets et l'impact environnemental d'un excès de phosphore.....</b>	<b>6</b>
<b>I-7- Les stratégies utilisées pour éliminer le phosphore.....</b>	<b>7</b>
<b>I-8- Avantages et inconvénients des procédés d'élimination des phosphores.....</b>	<b>10</b>

#### Partie II : L' azotée et son élimination.

<b>II-1- Nature.....</b>	<b>12</b>
<b>II-2- les formes et l'origine de l'azote dans les eaux usées.....</b>	<b>12</b>
<b>II-3- Caractérisation.....</b>	<b>12</b>
<b>II-4- L'Effet de la pollution azotée.....</b>	<b>13</b>
<b>II-5- Les normes.....</b>	<b>14</b>
<b>II-6- L'élimination de la pollution azotée.....</b>	<b>14</b>
Bibliographie.....	16

## Chapitre II : Généralité sur les argiles et le phénomène d'adsorption.

### Partie I : Généralité sur les argiles.

I-1-Introduction.....	20
I-2-Définition.....	20
I-3 constituants Chimiques.....	20
I-4- Les structures des minéraux argileux.....	21
I-5- Classification des argiles.....	21
I-6- Les propriétés des minéraux argileux.....	24
I-7- Utilisation des argiles.....	25

### Partie II : Généralité sur les phénomènes d'adsorptions.

II-1-Définition.....	27
II-2- Types d'adsorptions.....	27
II-3- Principaux Adsorbants .....	28
II-4-Caractéristiques.....	29
II-5- Cinétique d'adsorption.....	29
II-6- L'Equation de l'adsorption.....	30
Bibliographie.....	31

## Chapitre III : Matérielles et méthodes

III-1-Echantillonnage et traitement d'argile.....	35
III-2-L'échantillonnage et le traitement d'échantillons d'eaux usées.....	36

## Chapitre IV : Résultats et discussions .

IV. Détermination les propriétés physiques et chimiques d'échantillon d'argile.....	40
IV. L'élimination des composés azotés par l'argile.....	40
Conclusion Générale.....	46
Annexe .....	48



***Introduction***

L'eau est un élément classée comme étant une source de vie et est depuis toujours une richesse irremplaçable. La qualité de l'eau est par ailleurs affectée par des applications industrielles, agricoles et domestiques qui ont une immense influence sur la détérioration de cette ressource.

La libération de substances d'origine chimique dans l'environnement est devenir une menace pour l'équilibre des écosystèmes aquatiques et la santé humaine. Par conséquent, pour réduire la pollution, les lois doivent être respectées en fixant des normes pour les substances nocives rejetées dans l'eau.

L'eutrophisation compte parmi les altérations les plus courantes des eaux continentales et marines. causé par des apports excessifs de nutriments (1), notamment des composés de l'azote et/ou du phosphore provoquant un développement accéléré des algues et des végétaux qui entraîne une perturbation indésirable de l'équilibre des organismes présents dans l'eau et une dégradation de la qualité de l'eau(2). Ces composés doivent être impérativement éliminés avant rejet des eaux dans le milieu naturel.

La mise en place de traitement tertiaire dans les stations d'épuration classiques afin d'éliminer ces composés nécessite de lourds investissements.

L'objectif de notre travail est de proposer une alternative économique pour l'élimination des nutriments par adsorption sur un matériau abondant dans notre région à savoir l'argile. Il s'agit de savoir jusqu'à quelle mesure l'utilisation de cette technique peut-elle être appliquée dans le cas des eaux usées de la ville de Touggourt et par utilisation de l'argile de la région de Blidet Omar.

Ce manuscrit est divisé en deux parties, une première théorique et une partie pratique.

-La partie théorique est divisée en deux chapitres : le premier chapitre comprend des généralités sur la pollution phosphorée et azotée et les moyens de les éliminer. Le deuxième chapitre définit des généralités sur l'argile et le phénomène d'adsorption.

- la partie pratique, comprend deux chapitres : le chapitre matériels et méthodes et le chapitre résultats et discussions.

Le mémoire est terminé par une conclusion générale et des recommandations.



# **Chapitre 1. La pollution phosphorée et azotée**

## **I- Le phosphorée et son élimination :**

### **I-Introduction :**

La croissance et l'évolution des végétaux comme les algues en suspension et les algues benthiques en milieu aquatique est un phénomène naturel et essentiel pour la production de matière organique par photosynthèse, mais le développement excessif et l'augmentation anormale de ces végétaux conduisent à un phénomène appelé eutrophisation. (3)

Ce phénomène entraîne une dégradation de la qualité de l'eau (couleur, odeur, saveur), provoque des maladies cutanées et virales et qui conduit à la mortalité des poissons. (4)

Il existe le long du continuum terre-mer un gradient d'enrichissement naturel en nutriments, l'azote et le phosphore y sont généralement identifiés comme les facteurs limitant le développement des producteurs primaires, et donc comme les responsables principaux du déclenchement de l'eutrophisation.

Or les facteurs qui contrôlent l'eutrophisation ne s'exercent pas qu'à une échelle locale et de manière ponctuelle. Les processus sont contrôlés par des facteurs s'exerçant également à de larges échelles spatio-temporelles. Les nutriments arrivant en zone côtière peuvent en effet provenir de bassins-versants amont parfois éloignés de plusieurs centaines de kilomètres, avant d'être transportés et dilués en mer sur des centaines de kilomètres. (5)

### **I-1-Nature :**

Le phosphore est un élément nutritif, Sa présence en abondance dans les milieux hydrauliques superficiels est une problématique, il est à l'origine du phénomène d'eutrophisation c'est-à-dire la prolifération excessive d'algues et de plancton dans les milieux aquatiques.

### **I-2-L'origine :**

Le phosphore provient d'origines et de sources différentes, nous mentionnons dans ce contexte les sources les plus importantes qui contribuent à la dissémination et à l'augmentation du phosphore dans le milieu aquatique, y compris les sources industrielles, source domestiques, source naturelles et source agricoles.

#### **➤ Du métabolisme humain :**

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

La plupart des données bibliographiques applicables aux pays industrialisés situent cependant les rejets métaboliques à des valeurs voisines de 1.5 à 1.6 g P/(j.pers) (Lesavre, 2006; CIPEL, 2004; CEEP, 2008). Les facteurs de variation sont l'âge, le régime alimentaire et

la prise de certains compléments alimentaires ou traitements médicaux. Une valeur moyenne de 1.4 g P/ (j.pers) est retenue (6)

- **Des produits lessiviels et de nettoyage :** 1 à 2 grammes de P par jour et par habitation (en diminution)(7).

Ce type de rejets est constitué des déchets particuliers ou liquides par l'eau de cuisson, les résidus alimentaires ou l'eau de lavage et de bain, dans lesquels sont utilisés des détergents et des savons contenant du phosphore et non dégradable (8)

- **Des rejets industriels :** représentent les effluents des industries agro-alimentaires où l'acide phosphorique est utilisé comme désinfectant pour les contenants (laiteries, embouteillages, eaux minérales) ou à travers des matériaux contenant du phosphate ajouté pour les aliments en conserve. (Carbiener, 1990).

Ce type de rejets représente également les effluents des industries des lavages industriels et des engrais chimiques(9).

- **Les rejets agricoles ou d'origine naturelle :** Ce type de sortie provient de plusieurs sources : Certains types de roches qui s'érodent, Les eaux de ruissellement de leur bassin versant, Les déjections animales et la décomposition de la matière organique après la mort des organismes, La libération du phosphore emmagasiné dans les sédiments au fond du lac (10).

### **I-3-Les formes du phosphore dans les eaux usées :**

On distingue le phosphore minéral et le phosphore organique

#### **I-3-1-Phosphore minéral**

Ce sont les ions orthophosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) libres ou associés à de la matière organique ou non sous forme de colloïdes, les différents anions de l'acide phosphorique  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  et  $\text{HPO}_4^{2-}$  et les polyphosphates (11).

#### **I-3-2-Phosphore organique**

Le phosphate organique dissous représente quant à lui, l'ensemble des produits intermédiaires de la dégradation de la matière organique qui amène en finalité à l'orthophosphate (12). Il intervient dans le processus de synthèse des protéines, par sa présence dans les acides nucléiques tels 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 (9).

La fraction particulaire organique, est représentée par l'ensemble du phosphate de la matière

organique animale ou végétale, vivante ou en voie de dégradation.

#### **I-4-Characterisation :**

Le phosphore a été découvert en 1669 par un alchimiste allemand Hennig Brand

Le phosphore est un élément du groupe 15 (VA) dans la classification périodique.

Des éléments. Il possède par conséquent la couche de valence :  $3s^2 3p^3$ . Il est donc trivalent à l'état fondamental. Le phosphore joue un rôle important dans la croissance et le développement des organismes vivants. Chez l'homme par exemple, il joue un rôle premier dans trois fonctions essentielles : réservoir et transfert d'énergie nécessaire pour métabolisme, synthèse des acides aminés et des protéines, édification des tissus durs, squelette et dents. Pour les végétaux et les algues également, le phosphore est un élément essentiel pour leur développement et leur croissance. (13)

#### **I-5-Les Normes :**

Le phosphore provient de :

Métabolisme humain : Un homme excrète entre 1 et 2 grammes de phosphore par jour. C'est un l'entrée principale du phosphore dans les rivières ;

Détergents et produits d'entretien : 1 à 2 grammes de phosphore par jour et par foyer (Bremise) ;  
Déchets industriels : déchets agro-alimentaires, abattoirs, blanchisseries Industries industrielles, de traitement de surface et de spécialités chimiques. Elles ou ils Il transporte approximativement la même quantité de composés phosphorés que la quantité d'eaux usées local, pour les zones relativement urbaines ;

Les résidus agricoles ou naturels sont conservés dans le sol et ne sont pas retrouvés dans les eaux usées. Les eaux de surface peuvent en contenir en raison de L'érosion et le ruissellement provoquent l'apparition de particules de sol dans les cours d'eau (14)

#### **I-6-Les effets et l'impact environnemental d'un excès de phosphore**

##### **I-6-1-Impacts sur le milieu aquatique :**

Le phosphore est un élément essentiel pour le fonctionnement de l'écosystème aquatique lorsqu'il est présent en concentrations naturelles les algues et les plantes se développent. Pour les plantes, le phosphore constitue un facteur primordial de la croissance, il est l'un des éléments les plus importants de nombreux processus biologiques, tels que la croissance et la photosynthèse, ainsi que dans le transport et le stockage de l'énergie dans les plantes. (10) l'augmentation excessive conduit à la croissance anormale des plantes aquatiques, formant une couche verte sur la surface de



l'eau qui agit comme un isolant entre l'atmosphère et le milieu aquatique, entraînant En raison de l'absence de lumière nécessaire à la photosynthèse et la diminution de l'oxygène nécessaire pour répondre aux besoins respiratoires des poissons et des invertébrés, et donc une diminution significative dans la diversité biologique.(15)

### **I-6-2-Effets connus sur la santé humaine :**

La présence d'un excès de phosphore dans l'eau conduit à stimuler la croissance d'un type de bactéries nocives appelées cyanobactéries qui libèrent des toxines qui peuvent infecter les humains avec des maladies graves telles que gastro-entérite, troubles digestifs, irritation de la peau et des muqueuses, etc.) Des réactions allergiques peuvent survenir par simple contact avec des toxines cyanogènes, notamment des éruptions cutanées, des œdèmes et des irritations cutanées. (16)

### **I-7-Les stratégies utilisées pour éliminer le phosphore :**

Pour éliminer et réduire autant que possible la pollution phosphore, nous devons utiliser des moyens préventifs et autres curatifs.

#### **I-7-1-Les moyens préventifs :**

Afin de réduire l'apport de phosphore dans les milieux aquatiques, nous cultivons des arbres et des plantes qui réduisent les risques d'érosion et contrôlent le ruissellement. Il faut également éviter la fertilisation des zones proches des rivières. Pour réduire la présence de phosphore dans le sol on remplace les engrais qui contiennent de grandes quantités de phosphore par d'autres où la quantité de phosphore est faible ou exempt de celui-ci ainsi que la diminution des composés phosphorés dans l'alimentation animale ceci réduirait les rejets de phosphore dans les excréments. Pour réduire le taux de phosphore dans les eaux usées il faut de préférence utiliser des produits ménagers sans phosphates et biodégradables.

#### **I-7-2-Les moyens curatifs :**

La plupart des stations d'épuration ne disposent pas de traitements tertiaires d'élimination du phosphore, d'où la nécessité de mise en place d'installation de finition des effluents secondaires en fonction de la destinée finale de cette ressource. Pour ce faire nous disposons de deux procédés à savoir ; le procédé biologique et le procédé physicochimique.

### *1-7-2-1-Elimination biologique du phosphore :*

Le traitement biologique, au sens large, englobe d'une part l'assimilation du phosphore par la biomasse pour ses besoins métaboliques minimaux, et d'autre part la suraccumulation du phosphore par des bactéries déphosphatantes au-delà de leurs besoins métaboliques (17).

Dans un traitement biologique des eaux usées, les micro-organismes épurateurs décomposent la pollution organique que l'on trouve dans les eaux usées. Ils utilisent pour ce faire l'oxygène introduit dans l'eau au moyen d'aérateurs. Pendant le processus d'épuration, les micro-organismes se développent sous la forme de flocons de boue. Ceux-ci sont ensuite séparés par décantation des eaux usées traitées. L'azote et le phosphore sont également éliminés.

Les boues en excès sont évacuées chaque année en vue de leur incinération avec récupération d'énergie (18).

#### ❖ *Mécanismes du processus de suraccumulation :*

Dans le procédé d'élimination biologique du phosphore par boue, activée la biomasse est exposée à une alternance de conditions anaérobies et aérobies.

Le processus peut simplifier comme suit :

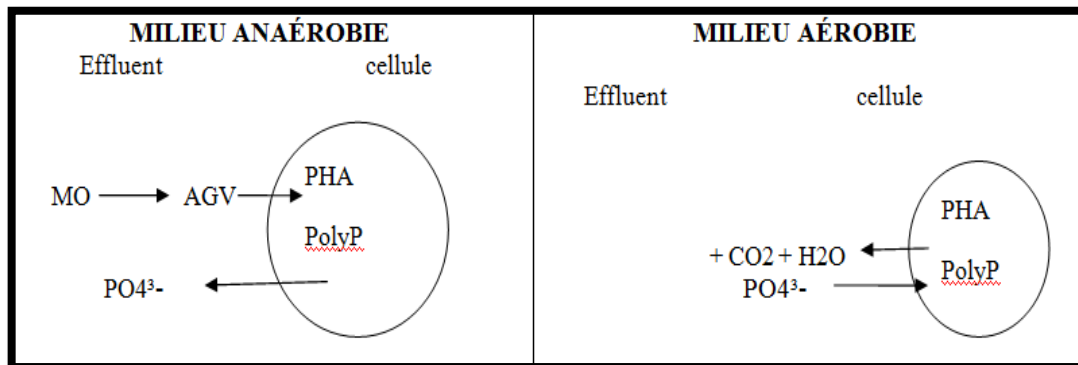
- **Milieu anaérobie** (figure 1), la fraction facilement fermentescible de la Matière Organique (MO) est transformée en Acides Gras Volatils (AGV). Les bactéries déphosphatantes, qui sont aérobies facultatives et hétérotrophes, ont la capacité d'absorber et de stocker ces Acides Gras Volatils dans leurs cellules sous forme de PolyHydroxyAlcanoates (PHA).

L'énergie nécessaire à cette absorption est fournie par hydrolyse des PolyPhosphates (PolyP) contenues dans les cellules des bactéries, en phosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ).

- **Milieu aérobie** (figure 1), elles utilisent leurs stocks de PHA comme substrat carboné. Ceci leur évite de rentrer en compétition avec le reste de la biomasse hétérotrophe pour l'obtention du substrat carboné nécessaire à leur métabolisme (apport énergétique et synthèse cellulaire). Simultanément, elles absorbent les phosphates contenus dans le milieu pour reconstituer leurs réserves en polyphosphates.

La succession de périodes aérobies et anaérobies a pour conséquence la sélection de cette biomasse stockant le phosphore intra cellulièrement sous forme de polyphosphates.

Le résultat net est un transfert du phosphore minéral contenu dans le liquide à traiter vers la matière cellulaire (19).



**Figure 1 :** Accumulation intra cellulaire de la matière organique en anaérobiose et de polyphosphates en aérobie.

Les performances de la déphosphatation biologique dépendent de plusieurs paramètres opératoires qui agissent sur les processus de la phase anaérobie (relargage des phosphates ou de la phase aérobie (réassimilation des phosphates). En effet, dans le réacteur anaérobie, il faut favoriser la fermentation de la matière organique en AGV. L'effluent doit donc contenir une partie importante de matière organique facilement fermentescible.

#### **-Les phases distinguées au cours du relargage (la phase anaérobie)**

Le relargage du phosphore vers la colonne d'eau est un processus complexe. Plusieurs mécanismes, physiques, chimiques et biologiques, interviennent. Plusieurs facteurs sont considérés comme responsables des taux de relargage du phosphore : le potentiel d'oxydoréduction, la concentration en nitrates, la minéralisation, la libération de gaz, la bioturbation, les effets du phytoplancton et des macrophytes, les caractéristiques des sédiments, un pH élevé et le brassage éolien (20).

#### ***1-7-2-2-Traitement physico-chimiques :***

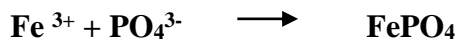
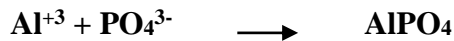
##### **❖ Principe de base :**

Les méthodes physiques/chimiques d'élimination du phosphore comportent deux étapes principales : la formation de précipités, suivis d'une séparation solides-liquides. (21)

L'ajout de l'agent coagulant (réactifs chimiques) conduit à la piégeage des phosphates sous une forme particulière, Le phosphore passe donc de la phase aqueuse à la phase

solide en s'accumulant sous forme de boues qui doivent être retirées périodiquement ou en continue soit par filtration ou décantation. (22)

À ce jour, la technique la plus courante d'élimination des phosphates est la précipitation chimique avec des sels de fer ou d'aluminium, comme le montrent les réactions chimiques suivantes (23) (24) :



Les quantités de réactifs varient d'une station à l'autre. Ils dépendent de la concentration en phosphate de l'effluent mais aussi des conditions physico-chimiques du milieu (pH, alcalinité, espèces organiques dissoutes, etc.), des conditions de brassage et des matières en suspension (Maurer et Boller, 1998) (25) (26).

### **I-8-Avantages et inconvénients des procédés d'élimination des phosphores :**

L'élimination physico-chimique est simple à mettre en œuvre, fiable et efficace mais présente plusieurs inconvénients : des coûts d'exploitation accrus dus à la consommation de réactifs chimiques et à la corrosivité du produit; production excessive de boues, rejet de sels dans le milieu récepteur.(27). Bien que les processus biologiques n'éliminent pas le P à des niveaux aussi bas que les processus chimiques, ils présentent certains avantages: il n'y a pas besoin de produits chimiques, la quantité de boue produite est inférieure à celle de la précipitation chimique et les biosolides produits sont plus faciles à utiliser que boues chimiques.(28)

Il est possible et il existe des stations qui utilisent une combinaison de la voie biologique et de la voie physico-chimique. Ceci permet à la fois de cumuler les avantages des deux méthodes : rendements stables et très poussés, surplus de boues physico-chimique plus faibles, meilleure décantabilité des boues, couts de fonctionnement plus faible qu'en physico-chimique pur (29).



**Tableau I :** Comparatif des avantages et des inconvénients entre les méthodes d'élimination du phosphore par voie biologique et par voie chimique. (30).

	Voie biologique	Voie physico-chimique
Élimination de phosphore	Rendement instable 50% - 70%	Potentiellement très poussé
Équipement nécessaire	Bassins	Système d'injection et de stockage des réactifs
Coût de fonctionnement	Faible	Plus élevé
Production supplémentaire de boues	Négligeable	20% environ
Qualité de la boue	Inchangée	Meilleure décantabilité

## II-L' azotée et son élimination

### II-1-Nature :

L'atmosphère est la principale source d'azote. On le rencontre principalement sous sa forme diatomique ( $N_2$ ) (31). L'azote constitue en effet les quatre cinquièmes de l'air atmosphérique. Il s'agit d'une molécule très stable. Une fois fixé, l'azote atmosphérique peut être transformé en azote organique par les organismes fixateurs, ou libéré sous forme d'ion ammonium ( $NH_4^+$ ) (32).

La matière organique constitue la principale réserve d'azote du sol. En absence d'activité humaine, l'azote dans l'environnement provient principalement des micro-organismes (cyanobactéries dans l'eau et quelques bactéries du sol) qui transforment l'azote gazeux ( $N_2$ ) en ammoniac ( $NH_3$ ) (33).

### II-2-Les formes et l'origine de l'azote dans les eaux usées :

L'azote peut se présenter sous un certain nombre de formes chimiques importantes telles que : l'azote organique, l'azote ammoniacal ( $NH_4^+$ ), les nitrates ( $NO_3^-$ ) et les nitrites ( $NO_2^-$ ). L'azote total représente la somme de ces formes d'azote (34). Il se trouve dans les eaux usées principalement sous forme de d'azote ammoniacal et d'azote organique (protéines, urées, acides nucléiques) (35).

- L'azote organique provient surtout des déjections animales et humaines et des rejets d'industries agro-alimentaires.
- L'azote ammoniacal, qui peut provenir des rejets industriels ou de la transformation de l'azote organique par ammonification. Il provient principalement du lessivage des terres agricoles ainsi que des eaux usées d'origine municipale et industrielle (35).
- L'ion nitrate ( $NO_3^-$ ) est la principale forme d'azote inorganique trouvée dans les eaux usées. Il provient principalement de la décomposition des plantes, des cadavres d'animaux et de leurs excréments. Le nitrate provient également des effluents industriels, les rejets d'eaux usées domestiques, le lessivage des terres agricoles (35).

### II-3- Caractérisation :

#### II-3-1-Dosage de l'azote ammoniacal :

L'azote ammoniacal est présent sous deux formes en solution: l'ammoniac  $NH_3$  et l'ion ammonium  $NH_4^+$ . Pour effectuer le dosage de l'azote ammoniacal, plusieurs méthodes sont utilisées (36) :

- Méthode au bleu d'indophénol.
- Méthode potentiométrique.

- Méthode par flux continu.
- Méthode par chromatographie ionique.
- Méthode titrimétrique.

Méthode de Nessler.

-L'acidimétrie après distillation (norme NF T 90-015).

### II-3-2-Dosage de l'azote Kjeldahl :

L'azote organique ne peut être mesuré de manière isolée, mais il le sera avec l'azote ammoniacal sous forme de l'azote Kjeldahl, noté NK ou NTK qui correspond à la somme de l'azote organique et de l'azote ammoniacal.

$$NK = N_{org} + N-NH_4^+$$

L'expression « azote Kjeldahl » trouve son origine dans le nom de celui qui a mis au point la méthode universelle utilisée pour doser les fractions azotées concernées.

La méthode de dosage utilisée pour l'azote kjeldahl est minéralisation au sélénium (norme NF T 90-110). (36).

### II-3-3-Dosage des nitrites :

Plusieurs méthodes sont utilisées pour effectuer le dosage des nitrites (36) :

- Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire.
- Méthode par flux continu.
- Méthode par chromatographie ionique.

### II-3-4-Dosage des nitrates :

Les méthodes utilisées pour concentrer les nitrates sont (36):

- Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire.
- Méthode par réduction au cadmium.
- Méthode par flux continu (méthode CFA).
- Méthode par chromatographie ionique.

### II-3-5-Dosage de l'azote total :

La méthode préconisée est **méthode** par minéralisation au peroxydisulfate. (**Norme NF ENISO 11905-1**).Le dosage de l'azote total est fait en utilisant un analyseur colorimétrique automatisé.

## II-4- L'effet de la pollution azotée :

L'azote est un composant important dans la vie aquatique, car il est l'un des nutriments les plus importants essentiels à l'activité biologique dans l'eau, Mais l'augmentation de sa concentration crée de nombreux problèmes de pollution, y compris le phénomène d'eutrophisation, c'est-à-dire la croissance indésirable des algues dans l'eau. Une couleur verte, une odeur désagréable et un aspect

peu attrayant, en plus de ces dommages à la vie aquatique, la présence excessive de diverses formes d'azote est toxique non seulement pour les poissons (à la concentration de 1 mg d'azote/L) mais aussi pour les autres animaux aquatiques (37). Ainsi que les conséquences qu'il entraîne sur la santé humaine (asthme, bronchites chroniques...).

## **II-5-Normes :**

L'eau alimentaire du robinet ne doit jamais présenter une teneur en  $\text{NO}_3^-$  supérieure à 50 mg/L. Par contre, l'eau prélevée dans les milieux naturels (ou eau brute) destinées à l'alimentation humaine après captage et distribution au robinet de l'utilisateur, doit respecter des teneurs maximales différentes suivant le milieu de prélèvement : 100 mg/L, pour les eaux souterraines de nappes et 50 mg/L, pour les eaux de surfaces des lacs ou rivières, une valeur guide indicative de 25 mg/L, subsiste pour évaluer la qualité des eaux de surfaces des lacs ou rivières, seuil d'alerte de nature à influencer la filière de potabilisation des eaux (38).

Les ERU contiennent en moyenne 60 mg/ d'ammonium (de 20 à 80 mg/L)

Les eaux usées après traitement contiennent habituellement de l'ammoniaque dont la teneur varie suivant le procédé adopté et qui contribue à la consommation de l'oxygène dissous dans l'eau.

Immédiatement en aval des foyers de pollution, on trouve souvent des teneurs de l'ordre de 0.5 à 3 mg/L tandis que les teneurs en nitrites et nitrates relativement faibles. Plus en aval, les teneurs en azote ammoniacal diminuent et celles des nitrites puis nitrates augmentent.

D'une façon générale l'ammoniaque se transforme assez rapidement en nitrites et nitrates par oxydation.

Pour l'azote total et si on l'assimile à l'azote total, on aura de 30 à 100 mg/L et une valeur moyenne de 80 mg/L. (Rejsek page 169).

Le décret 06-141 relatif aux valeurs limites des rejets d'effluents industriels fixe une valeur limite de 30 mg.L-1 pour l'azote Kjeldahl.

## **II-6- L'élimination de la pollution azotée :**

L'élimination de l'azote des eaux usées comprend des mécanismes différents. Fondamentalement, la méthode utilisée est la méthode biologique (la nitrification et la dénitrification), selon Metacal et Eddy (2003) mentionnent que les procédés biologiques s'avèrent habituellement plus économiques que les traitements physicochimiques (39).

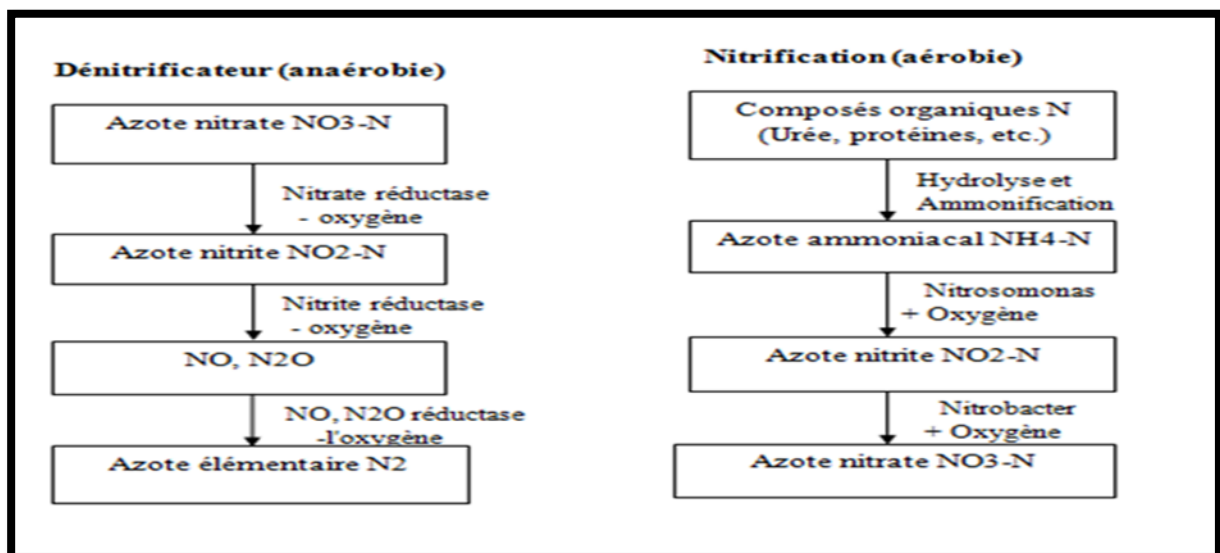


### II-6-1-La nitrification :

Le processus de nitrification consiste d'abord en l'oxydation de l'azote ammoniacal en nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ), un état intermédiaire, puis ce dernier est rapidement oxydé en nitrate. Cette transformation, qui est effectuée en présence d'oxygène par des bactéries autotrophes nitrifiantes, se divise en deux étapes, la première étant assurée par des bactéries Nitrosomonas et la deuxième par des bactéries Nitrobacter.

### II-6-2-La dénitrification :

La dénitrification est un processus anoxie au cours duquel les bactéries hétérotrophes vont changer leur métabolisme pour utiliser les formes oxydées d'azote ( $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) comme accepteurs d'électron au lieu de l'oxygène moléculaire ( $\text{O}_2$ ). La réduction biologique du nitrate au cours de la dénitrification mènera à la production finale de  $\text{N}_2$



**Figure 2** : Processus de dégradation associés à l'élimination de l'azote.

## La bibliographie

- (1)- PINAY, Gilles, GASCUEL, Chantal, MÉNESGUEN, Alain, *et al.* *L'eutrophisation*. éditions-Quae, 2018.
- (2)- de la Santé, O. M., & de l'Europe, B. R. (2017). eau. Repéré à <http://www.who.int/media-centre/factsheets/fs391/fr>.
- (3)- BILLEN, GARNIER et GARNIER, J. Eutrophisation des cours d'eau du bassin de la Seine. *Fascicule PIREN Seine*, 6<sup>ème</sup> éd.2009.
- (4) -BARROIN, G. Lutte contre l'eutrophisation. *Aménagement et nature*, 1976 ; No 44.
- (5)- PINAY, Gilles, GASCUEL, Chantal, MÉNESGUEN, Alain, *et al.* *L'eutrophisation*. éditions 4<sup>ème</sup>, 2018.
- (6)- SALHA, Mme GUERGUEB. *Etude des niveaux de concentration de l'azote et du phosphore minéraux et leur incidence d'eutrophisation à l'embouchure de l'Oued El-Kébir Est (Wilaya d'El-Tarf)*. , Thèse de doctorat. Université Badji Mokhtar Annaba.2016.
- (7)- BARROIN, Guy. La pollution des eaux par les phosphates. *La Recherche: l'actualité des sciences*, 1990, vol. 221, p. 620-627.
- (8) -STRICKER, Anne-Emmanuelle et HÉDUIT, Alain. *Phosphore des eaux usées: état des lieux et perspectives*. Thèse de doctorat. irstea.2010.
- (9) -DERONZIER, Gaëlle et CHOUBERT, Jean-Marc. Traitement du phosphore dans les petites stations d'épuration à boues activées. *Document technique FNDAE*, 2004, vol. 29.
- (10) -BALLAND, P. Le phosphore. *La Houille Blanche*, 1999, no 3-4, p. 121-131.
- (11) -CARBIENER, R. Compositions lessiviellles avec ou sans phosphates et protection des milieux aquatiques. *Rapport au secrétaire d'Etat aupres du premier Ministre chargé de l'Environnement*, 1990, vol. 133.
- (12)- Rinse,C.P .les sources de phosphore,.(2009).
- (13)- SERRAOUI M., UTILISATION D'UNE ARGILE LOCALE DE LA REGION DE TOUGGOURT DANS L'EPURATION DES EAUX USEES. PERFORMANCES EPURATOIRES ET CONDITIONS OPTIMALES, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, 2020.
- (14) -MAINSTONE, Chris P. et PARR, William. Phosphorus in rivers—ecology and management. *Science of the Total Environment*, 2002, vol. 282, p. 25-47.
- (15) -MIRANDA, L. E. et HODGES, K. B. Role of aquatic vegetation coverage on hypoxia and sunfish abundance in bays of a eutrophic reservoir. *Hydrobiologia*, 2000, vol. 427, no 1, p. 51-57.
- (16)- CARPENTER, Stephen R., CARACO, Nina F., CORRELL, David L., *et al.* Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological applications*, 1998, vol. 8, no 3, p. 559-568.

- (17)- FETHIA, HOUASNI et SABRINA, BENSMAILI. Evaluation de la performance épuratoire de la station de traitement des eaux usées de Ain Defla. 2018.
- (18)- GALVEZ-CLOUTIER, Rosa, IZE, Sylvaine, et ARSENAULT, Sylvain. Manifestations et moyens de lutte contre l'eutrophication. *Vecteur environnement*, 2002, vol. 35, no 6, p. 18.
- (19) -DERONZIER, G. et CHOUBERT, J. M. Traitement du phosphore dans les petites stations d'épuration à boues activées. Comparaisons techniques et économiques des voies de traitement biologique et physico-chimique. 2004.
- (20)- BORTONE, G., GEMELLI, S., RAMBALDI, A., *et al.* Nitrification, denitrification and biological phosphate removal in sequencing batch reactors treating piggery wastewater. *Water Science and Technology*, 1992, vol. 26, no 5-6, p. 977-985.
- (21)- GALVEZ-CLOUTIER, Rosa, IZE, Sylvaine, et ARSENAULT, Sylvain. Manifestations et moyens de lutte contre l'eutrophication. *Vecteur environnement*, 2002, vol. 35, no 6, p. 18.
- (22)- ATEEQ, Farah. Chemical removal of total phosphorus from wastewater to low levels and its analysis. 2016.
- (23)- Degrémont ,Mémento technique de l'eau. 10ème édition.2005.
- (24)- XIE, Weimin, WANG, Qunhui, MA, Hongzhi, *et al.* Study on phosphorus removal using a coagulation system. *Process Biochemistry*, 2005, vol. 40, no 8, p. 2623-2627.
- (25)- MAURER, M. et BOLLER, M. Modelling of phosphorus precipitation in wastewater treatment plants with enhanced biological phosphorus removal. *Water Science and Technology*, 1999, vol. 39, no 1, p. 147-163.
- (26) -BALAMANE-ZIZI, O. et AIT-AMARA, H. Study of the simultaneous elimination of phosphates and heavy metals contained in dairy wastewater by a physical-chemical and biological mixed process; consequences on the biodegradability. *Energy Procedia*, 2012, vol. 18, p. 1341-1360.
- (27) -DANESHGAR, Saba, CALLEGARI, Arianna, CAPODAGLIO, Andrea G., *et al.* The potential phosphorus crisis: resource conservation and possible escape technologies: a review. *Resources*, 2018, vol. 7, no 2, p. 37.
- (28)- Fond National pour de Développement des Adductions d'eau (FNDAE), Traitement du phosphore dans les petites stations d'épuration à boues activées, CEMAGREF, n°29.2004
- (29)- CABANES, Frédéric. *Déphosphatation des effluents: Précipitation et valorisation du phosphore*. Thèse de doctorat.2006
- (30) -SCHEINER, Javier David. *Spéciation du Carbone, de l'Azote et du Phosphore de différentes boues de stations d'épuration au cours de leurs incubations contrôlées dans deux types de sol*. L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE TOULOUSE Thèse de doctorat.2005.
- (31)- OUAKEOUAK, Abdelkader. *Elimination du cuivre, des nitrates et des phosphates des eaux par adsorption sur différents matériaux*.Thèse de doctorat. Université Mohamed Khider-Biskra.2017.

- (32) -SALHA, Mme GUERGUEB. *Etude des niveaux de concentration de l'azote et du phosphore minéraux et leur incidence d'eutrophisation à l'embouchure de l'Oued El-Kébir Est (Wilaya d'El-Tarf)*. Thèse de doctorat. Université Badji Mokhtar Annaba. 2016.
- (33) -RAHMOUNI, Labiba, SAOU, A., BALOUL, Souhila, *et al.* *Elimination de la pollution carbonée, azotée et phosphatée des eaux usées de la station Sidi Ali Lebhar avec un réacteur pilote du laboratoire en zone anoxie en tête*. Thèse de doctorat. Université de Bejaia. 2013.
- (34) - Kamouraska, L'Islet et Rivière-du-Loup, Plan directeur de l'eau - Diagnostic – <http://www.obakir.qc.ca/wp-content/uploads/2014/10/fiche-4-eau-surface-azote.pdf>  
Mai 2014.
- (35) -GUILLEN-JIMENEZ, E., ALVAREZ-MATEOS, P., ROMERO-GUZMAN, F., *et al.* Bio-mineralization of organic matter in dairy wastewater, as affected by pH. The evolution of ammonium and phosphates. *Water Research*, 2000, vol. 34, no 4, p. 1215-1224.
- (36) -J. RODIER, B. LEGUBE, N. MERLET, COLL ; l'analyse de l'eau ; 9e édition, DUNOD ; 2009.
- (37) - MENSINGA, T. T., G. J. Speijers et J. Meulenbelt. 2003. «Health implications of exposure to environmental nitrogenous compounds». *Toxicology Review*, vol. 22, no. 1, p.41-51.
- (38) -Journal Officiel de la République Algérienne ; Le décret 06-141 du 19 avril 2006, Décret exécutif n° 06-141 du 19 avril 2006 et n° 09-209 du 17 du 11 juin 2009, Arrêté du 2 janvier 2012.
- (39) - METCALF ET EDDY, INC. (2003). *Wastewater engineering : treatment and reuse*. 4e éd., révisé par G. Tchobanoglous, F.L. Burton et H.D. Stensel, McGraw-Hill Inc., New York, pp. 62, 569, 616, 928, 969.

## **Chapitre 2. Généralité sur l'argile et le phénomène d'adsorption**



## I - Généralité sur les argiles.

### I-1-Introduction :

L'argile est une matière première naturelle, découverte depuis l'Antiquité. Elle avait une place thérapeutique importante au Moyen Âge, couramment utilisée pour soigner à cette époque. En Extrême-Orient, c'est le matériau principal dans la fabrication de la porcelaine chinoise, ainsi que dans la fabrication de la céramique, fabrication de briques et les tuiles dans d'autres civilisations.

La présence d'argile dans différents domaines en raison de ses nombreuses propriétés de plasticité, de résistance, de retrait, de fusion et de porosité, et grâce à sa propriété d'adsorption de matières organiques toxiques et dissoutes, elle est devenue utilisée dans le traitement des eaux contaminées d'autant plus qu'il s'agit d'un matériau naturel, peu coûteux et disponible.

### I-2-Définition :

Le mot argile vient du grec "Argilos" dérivé de "Argos" qui veut dire blanc, ou du latin "Argila"(1). L'argile est à l'origine une roche sédimentaire obtenue suite à la dégradation des roches volcaniques dues à des phénomènes d'érosion et d'altération chimique sous l'action des agents atmosphériques. Les minéraux représentent la plus grande partie de la composition de l'argile et se présentent sous forme de petits granules (inférieur ou égal à 2 µm).

### I-3 Constituants Chimiques :

Le critère physique le plus élémentaire est la dimension des particules constituant le sol. Du plus gros au plus fin on distingue les graviers, les sables plus ou moins grossiers, les silts et enfin les argiles dont le diamètre est inférieur à 2 µm. (2). Ce sont des silicates car seuls ces composés semblent pouvoir être caractérisés par les propriétés qui viennent d'être évoquées.

Les argiles sont toujours accompagnées d'impuretés, elles sont en conséquence constituées par des substances diverses sous formes de particules de très petite taille telles que(3) :

- Oxydes et hydroxydes de silicium : (le quartz et la cristobalite).
- Minéraux ferri-fères : l'hématite  $Fe_2O_3$ , la magnétite  $Fe_3O_4$ .
- Carbonates : la calcite  $CaCO_3$ , la dolomite  $CaMg(CO_3)_2$ .
- Oxydes et hydroxydes d'aluminium : La gibbsite  $Al(OH)_3$ .
- Matières organiques.

## I-4- Structure des minéraux argileux :

Les minéraux argileux sont des silicates hydratés (il s'agit généralement de silicates d'aluminium mais parfois de silicates de magnésium) dont la structure feuilletée permet de les ranger dans la famille de phyllosilicate (4). Ces feuillets sont bidimensionnels et constitués de deux types de couches : des couches tétraédriques(T) et des couches octaédriques(O).

- **Couche tétraédrique** : dont chaque tétraèdre  $TO_4$  est composée d'un atome central T coordonné à quatre atomes d'oxygène. Chaque groupement  $TO_4$  est lié aux tétraèdres voisins. L'association de six tétraèdres engendre une lacune hexagonale, L'épaisseur de la couche tétraédrique est considérée être environ  $3,4 \text{ \AA}$ . (5)
- **Couche octaédrique** : dont chaque octaèdre est constitué au centre d'un cation M entouré de six ligands (O, OH), La couche octaédrique est considérée être moins épaisse que la couche tétraédrique (5)

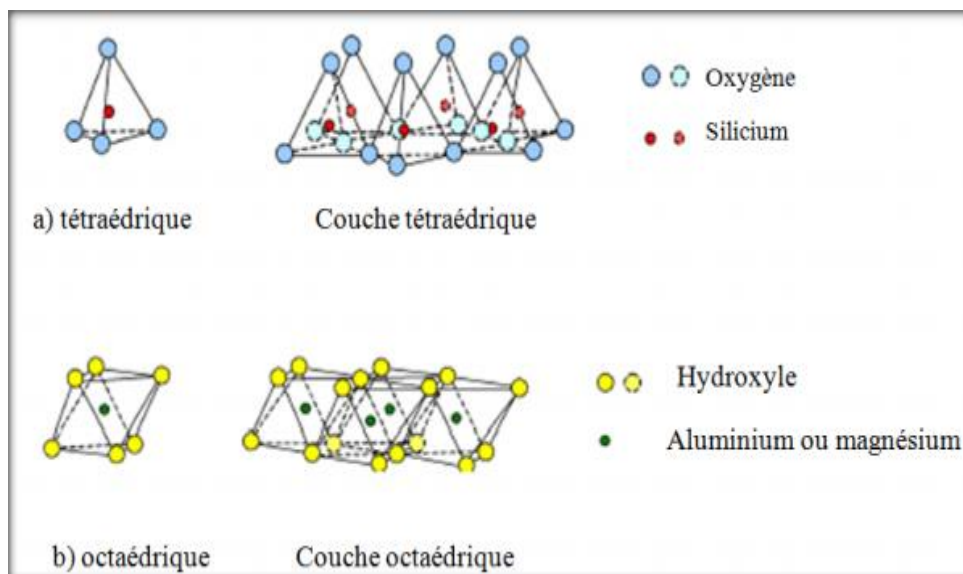


Figure 3 : Couche tétraédrique et octaédrique (6).

## I-5- Classification des argiles :

Le critère le plus simple et le plus employé pour la classification est le mode d'agencement des tétraèdres et des octaèdres constitutifs des argiles, deux grandes classes sont définies.

-Les argiles phylliteuses.

-Les argiles fibreuses.

Les argiles fibreuses (interstratifiés) sont des minéraux dans lesquels les feuillets sont alternés ou, le plus souvent, les espaces interfoliaires sont différents.

- Les argiles phylliteuses sont les plus répandues et les plus étudiés. Il s'agit de phyllosilicates minéraux formés par l'empilement de feuillets, chaque feuillet (épaisseur de 7, 10 et 14Å) est lui-même constitué de plusieurs couches.

Notre argile appartient à la classe des minéraux phylliteux. Selon le déficit de la charge du feuillet, le caractère et le taux d'occupation de la couche octaédrique. On distingue ainsi trois principaux types d'argiles phyllosilicates: (7)

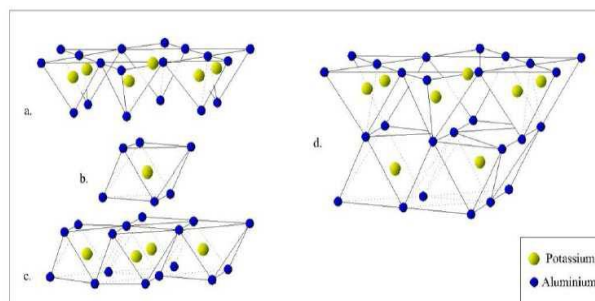
- *Type 1/1 (Minéraux à 7 Å).*
- *Type 2/1 (Minéraux à 10-15Å).*
- *Type 2/1/1 (Minéraux à 14 Å).*

#### I- 5-1 Minéraux de type 1:1 (ou T-O)

Les minéraux argileux de type 1/1 sont composés d'une couche tétraédrique lié à une couche octaédrique (la couche octaédrique pouvant être de nature di- ou trioctaédrique). Le feuillet est constitué d'une couche octaédrique et d'une couche tétraédrique, l'équidistance caractéristique est d'environ 7 Å, à ce type correspond le groupe de la kaolinite. (8)

##### ➤ *La kaolinite*

C'est le minéral le plus abondant de la famille des phyllosilicates 1 /1, souvent associée à d'autres minéraux. La présence de quartz est quasi systématique, provenant des processus géologiques de formation des argiles. Pour les mêmes raisons, on rencontre souvent des impuretés sous forme d'oxydes, de micas et / ou de feldspaths. (7)



**Figure4** : Modèle structural de kaolinite : **a-** feuillet tétraédrique, **b-** octaèdre- les atomes coordonnés peuvent être Al, Fe, ou Mg, **c-** feuillet octaédrique, **d-** modèle schématique de la couche de kaolinite.

### I-5-2 Minéraux de type 2:1 (ou T-O-T)

Les minéraux argileux de type 2/1 sont composés d'une couche octaédrique prise en sandwich entre deux couches tétraédriques. Les différentes couches sont liées entre elles via les oxygènes apicaux.

(8) Le minéral argileux neutre et chargé est donné Les minéraux argileux 2/1 sont notamment utilisés dans le domaine des cosmétiques, du stockage, du génie civil, etc. D'autres particularités de ce problème sont intrinsèques au sol argileux :

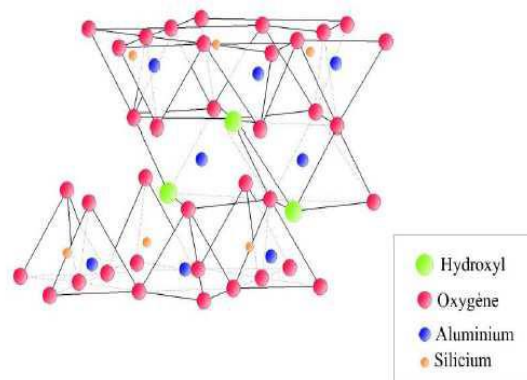
Constitution du sol argileux : degré d'hétérogénéité, degré d'homogénéité, espèce d'argile (kaolinite, illite, smectite...), présence ou non de carbonates

#### ➤ *Les smectites*

Ce sont des phyllosilicates constitués de deux couches tétraédriques séparées par une couche octaédrique. L'épaisseur totale du feuillet et de l'épaisseur interfeuillet associé est d'environ 14 Å, les minéraux les plus importants de cette famille sont la montmorillonite, la beidellite, l'hectorite et la saponite. Les smectites portent une charge négative à la surface, neutralisée par des cations dits compensateurs, la principale origine de cette charge de surface provient de substitutions isomorphiques résultant du remplacement des cations métalliques du réseau par des cations de la même taille mais de charge inférieure (la plus fréquente est la substitution d' $Al^{3+}$  par  $Mg^{2+}$ ).

#### ➤ *Les illites*

Comme les smectites, l'illite est un phyllosilicate de type 2/1, les feuillets possèdent une charge globale négative plus élevée que celle des smectites, qui est compensée par des ions de potassium. La différence fondamentale avec les smectites réside dans le fait que les ions compensateurs (potassium) ne sont que très faiblement échangeables. L'illite a une capacité d'échange cationique faible (de 20 à 40 meq /100g).



**Figure 5 :** Modèle structural de l'illite.

### I-5-3 Minéraux de type 2:1:1 (ou T-O-T-O)

Le feuillet est constitué de l'alternance de feuillets T-O-T et de couche octaédrique interfoliaire, cette couche neutralise les charges portées par les feuillets T-O-T. L'équidistance caractéristique est alors d'environ 14 Å, à ce type correspond le groupe du chlorite. (9)

#### ➤ *Les chlorites*

L'espace interfoliaire des chlorites n'est pas occupé par un cation compensateur comme dans les cas précédents, mais par un feuillet d'hydroxydes chargé positivement, l'espace basal caractéristique atteint 14 Å. Les chlorites sont stables à haute température. (10)

### I-5-4 Minéraux interstratifiés

Ce type de minéraux est formé par un mélange d'argiles phylliteuses, c'est l'association de deux ou plusieurs feuillets, qui s'alternent de différentes manières :

-Irrégulière : exemple : la sudoite (chlorite-montmorillonite).

-Régulière : exemple : bravaisite (illite- montmorillonite).

## I-6- Les propriétés des minéraux argileux :

### I-6-1- La surface spécifique :

Les minéraux argileux sont caractérisés par une grande surface définie malgré leur taille fine. (11)

Les propriétés des argiles sont principalement contrôlées par leur surface interne et externe. La surface totale comprend la surface externe, comprise entre les particules argileuses, et la surface interne, correspondant à l'espace interfoliaire. (12)

### I-6-2- La capacité de gonflement et d'adsorption d'eau :

Les argiles sont des petites particules ( $< 2\mu\text{m}$ ), et à cause de leur taille, elles ont une surface spécifique de contact très importante, qui leur confère la propriété d'adsorption. Ces argiles sont appelées argiles gonflantes ont la capacité d'incorporer dans leur structure des molécules d'eau.

Cette eau modifie la dimension de la couche en provoquant son gonflement.

Le mécanisme de gonflement serait donc composé d'un processus d'insertion d'eau couche par couche où l'on assiste à une micro-division des particules, qui elle-même provoquerait une diminution de la surface de ces particules, puis d'une répulsion à surface constante entre les cristaux plus petits.(13)

### **I-6-3-La Capacité d'échange cationique :**

La notion de capacité d'échange cationique (CEC) provient du domaine de l'étude des sols, et désigne la capacité d'un sol à retenir des cations. Les cations contenus dans le sol se situent principalement dans les minéraux argileux chargés négativement, ou dans la matière organique. Ils sont retenus pas des forces électrostatiques avec leur matrice. Comme décrit précédemment, les cations compensateurs sont nécessaires pour assurer l'électronégativité des minéraux argileux chargés négativement à la suite des substitutions isomorphiques de cations métalliques dans les sous-couches octaédriques ou tétraédriques. À l'inverse des cations métalliques de la structure du feuillet, les cations interstitiels peuvent être facilement échangés par d'autres cations.(14)

### **I-7- Utilisation des argiles :**

L'argile est un des plus anciens matériaux utilisés par l'homme. Pétrie avec de l'eau, elle donne une pâte plastique qui peut être facilement moulée ou mise en forme. Le modelage s'effectuait selon trois techniques fondamentales, par colombin, par plaque ou par estampage. Après cuisson, elle donne un objet résistant et (si argile de haute température, émaillé ou porcelaine) imperméable. Ces propriétés remarquables sont à l'origine de son utilisation très ancienne pour réaliser des objets en céramique, en porcelaine, etc.

#### **1-7-1 En industrie pharmaceutique Vétérinaire :**

##### **➤ *Utilisation comme anti-mottant***

Des chercheurs ont démontré qu'une alimentation contenant 5% d'argile stimule la croissance des ovins, ayant également un effet sur le métabolisme du rumen. Le talc est saupoudré à la surface des aliments comme par exemple la nourriture pour animaux pour ses propriétés « anti-mottante » c'est-à-dire qu'il évite l'agrégation des croquettes les unes aux autres permettant le stockage, de même pour les chewing-gums et les bonbons. Elles sont aussi utilisées comme excipient, comme anti-infectieux et comme stimulant.(10)



### 1-7-2 En agroalimentaire :

L'argile capte et élimine 81% des microcystine-LR hépatotoxines (pouvant provoquer une nécrose hépatique) présentes dans l'eau à l'état naturel. Elle peut donc être utilisée pour filtrer l'eau dans le but d'un approvisionnement en eau potable.

L'alimentation des animaux d'élevage est enrichie d'argile pour absorber les aflatoxines (molécules cancérigènes) synthétisées par une mycobactérie retrouvée dans les arachides. Une étude prouve la non toxicité de la consommation d'argile sur le court terme. Des essais cliniques ont été réalisés pour assurer que l'argile offre une réelle protection chez l'homme contre une exposition aux aflatoxine.

#### ➤ *Pour le traitement de l'eau*

Les argiles sont très utilisées dans le traitement des eaux, elles sont utilisées dans l'élimination de divers polluants et même des bactéries.

#### ➤ *En association à certains médicaments*

L'argile, par ses pouvoirs absorbant et adsorbant, interagit avec les minéraux, oligoéléments, des principes actifs médicamenteux dans la lumière intestinale. Une administration concomitante de cimétidine et d'argile entraîne une fixation de la cimétidine sur les feuillets empêchant son absorption. Une étude in vitro démontre que le kaolin altère de 30% la biodisponibilité de la quinine.

## II - Généralité sur les phénomènes d'adsorptions.

### II-1-Définition :

L'adsorption est un phénomène physico-chimique qui peut être définie comme étant le phénomène de fixation des atomes ou des molécules sur la surface du solide par des forces d'interaction, selon la nature des constituants de l'adsorbant et des molécules adsorbées, différents types de liaisons peuvent exister simultanément. Les liaisons les plus importantes sont (15)(16): Liaison de London-Van Der Waals, Liaison covalente, Liaison ionique, Liaison hydrogène et Liaison par transfert de charge.

L'adsorption, en traitement des eaux, est un phénomène de surface par lequel des atomes, des ions ou des molécules constituant les impuretés de l'eau à traiter, se fixent sur la surface solide d'un substrat selon divers processus. Certains minéraux, comme les argiles ou les zéolites, sont d'excellents adsorbants, grâce à leurs très grandes surfaces spécifiques(17).

### II-3-Types d'adsorptions :

Selon la nature de liaisons présentes entre l'adsorbant et les molécules absorbées, deux types d'adsorption sont désignés : adsorption physique et adsorption chimique.

#### II-3-1 -Adsorption physique (physisorption) :

L'adsorption physique ou physisorption est le type d'adsorption le plus courant, la plupart des procédés d'adsorption séparatives étant basés sur la physisorption.(18)

L'adsorption physique est un phénomène réversible (c'est-à-dire que les molécules adsorbées peuvent être facilement désorbées en diminuant la pression ou en augmentant la température) qui résulte de l'attraction entre les molécules d'adsorbant composant la surface du solide et les molécules du soluté, ces forces attractives de nature physique relativement faibles, du type force de Van der Waals. Plusieurs couches d'atomes ou de molécules peuvent se déposer de cette manière(19).

#### II-3-2- Adsorption chimique (La Chimisorption) :

L'adsorption chimique ou la chimisorption, irréversible, lente et très spécifique, qui résulte d'une interaction chimique au cours de laquelle des électrons sont transférés entre l'adsorbant et la molécule adsorbante, les molécules étant fixées à la surface par des liaisons ioniques ou covalentes.(20)

Dans adsorption chimique, les particules adsorbées s'accumulent sur une monocouche qui est directement lié à la matière solide.

**Tableau II :** Différences entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique

<i>Propriétés</i>	<i>Adsorption physique</i>	<i>Adsorption chimique</i>
<i>Types de liaison</i>	Liaison de Van Der <u>Waals</u>	Liaison chimique
<i>Température de processus</i>	Relativement faible comparé à la température d'ébullition de l'adsorbat	Plus élevée que la température d'ébullition de l'adsorbat
<i>Individualité des molécules</i>	L'individualité des molécules est conservée	Destruction de l'individualité des molécules
<i>Désorption</i>	Facile	Difficile
<i>Cinétique</i>	Rapide, indépendante de la température	Très Lente
<i>Chaleur d'adsorption</i>	Inférieur à 10 Kcal/mole	Supérieur à 10 Kcal/mole

**II-4- Principaux Adsorbants :** Les adsorbants les plus utilisés dans les applications industrielles sont les suivants :

- **Charbon actifs :** Le Conseil Européen des Fédérations de l'Industrie Chimique (CEFIC) donne la définition suivante pour le charbon actif : « c'est un produit carbone noire insoluble, sans odeur ni saveur, doté d'une structure poreuse présentant une très grande surface de contact interne ».

Les charbons actifs peuvent être classes d'après leurs caractéristiques : (la surface spécifique, les indices d'iodes et de phénol, la friabilité, la taille effective, le poids spécifique, le coefficient d'uniformité, etc.). D'après leurs origine organique ou minérale (bitume, tourbe, noix de coco, noyaux de dattes, lignite, etc.), ou d'après leurs aspect commercial (en poudre : CAP ou en grain : CAG) ; le CAG est caractérisé par une granulométrie s'étalant de 1 à 5 mm, le CAP est composé de particule de 1 à 4 microns.

-**Les zéolites :** Ce sont des cristaux micro-poreux d'aluminosilicates de formule générale :



Où x, y et z dépendent du type de zéolite et de la valence du ou des cations M.

Le cation M compense la charge négative due à la présence d'aluminium. C'est en général un élément alcalin ou alcalino-terreux comme  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  et  $\text{Ca}^{2+}$ . Il est possible qu'un proton  $\text{H}^+$  remplace ce cation. L'eau est ainsi éliminée par déshydratation. La structure primaire d'une zéolite est un réseau ordonné de tétraèdres de  $\text{SiO}_4$  et  $\text{AlO}_4$ . La réunion d'atomes d'oxygène permet de former une structure secondaire en forme de cubes ou d'octaèdres. L'assemblage de ces unités secondaires permet d'obtenir la structure cristalline finale régulière

## II-5-Les Caractéristiques :

### II-5-1-La capacité d'adsorption

Si l'on veut établir une classification de la valeur de plusieurs adsorbants, il faut comparer leurs capacités d'adsorption respectives. Elle s'exprimera généralement en g, soit par 100 g, soit par 100  $\text{cm}^3$  d'adsorbant. (21)

Les principaux facteurs influents sont :

- les propriétés physiques de l'adsorbant,
- les propriétés physiques du corps à adsorber,
- la pression de ce dernier (ou sa concentration),
- la température.

### II-5-2-La vitesse d'adsorption

Pour caractériser la puissance d'adsorption d'un corps, il faut tenir compte non seulement de sa capacité, mais aussi de la vitesse avec laquelle l'équilibre d'adsorption s'établit.

Il faut cependant distinguer entre une vitesse d'adsorption vraie et apparente. Les expériences ne donnent en général que celle-ci, car l'adsorption dépend de la diffusion, et c'est sa vitesse qu'on mesure.

## II-6- Cinétique d'adsorption

La cinétique d'adsorption est définie par l'évolution de la quantité adsorbée en fonction du temps de contact entre l'adsorbant et adsorbat, alors l'étude cinétique de processus d'adsorption présente un intérêt pratique considérable, il donne des informations sur le mécanisme d'adsorption et sur le mode de transfert des solutés de la phase liquide (adsorbat) à la phase solide (adsorbant). La quantité de soluté adsorbée est calculée à l'aide de l'équation :

$$q_t = \frac{(C_0 - C_t) * V}{m}$$

## II-7- L'Equation de l'adsorption

### II.7.1.Relation de Freundlich

L'isotherme d'adsorption de Freundlich, repose sur l'équation empirique suivante : (22)

$$Q_e = Kf * C_e^{1/n}$$

K : Capacité d'adsorption,

n : Constante dépendant de la constante énergétique de distribution numérique densités.

Les constantes K et n dépendent de la nature du soluté et du charbon actif utilisé

Cette isotherme présente une singularité lorsque  $n < 1$  : sa pente à l'origine est infinie.

### II.7.2.Relation de Langmuir

La théorie de l'adsorption proposée par LANGMUIR, repose sur les hypothèses suivantes :

- Chaque molécule est adsorbée sur un site actif d'adsorbant ;
- Chaque site n'adsorbe qu'une molécule ;
- Il n'y a pas d'interaction entre molécules adsorbées, c'est-à-dire que la solidité du lien d'une molécule donnée avec un centre donnée ne dépend pas de la présence ou de l'absence de molécules sur des sites voisins.
- Le nombre de site d'adsorption est une constante caractéristique d'une surface donnée. Le nombre total de site ne change pas avec la température et ne dépend pas du taux de recouvrement de la surface.

L'équation proposée par LANGMUIR est la suivante :

$$\theta = \frac{V}{V_m} = \frac{bP}{1 + bP}$$

b : Constante de LANGMUIR ;

P : Pression d'équilibre ;

$V_m$  est le volume nécessaire pour former la monocouche.

La vérification de l'hypothèse de Langmuir consiste à mesuré à température constante, pour un échantillon donnée de solide, le volume V adsorbé en fonction de la pression P du gaz.

La linéarité de la relation  $1/V = f(1/P)$  où  $P/V = g(P)$  confirme la validité de la relation, de plus, la pente de la droite obtenue et son ordonnée à l'origine permettent d'évaluer **b** et  **$V_m$** .

## La bibliographie

- (1) EL YAKOUBI, Nadia. Potentialités d'utilisation des argiles marocaines dans l'industrie céramique: cas des gisements de Jbel Kharrou et de Benhmed Thèse de doctorat. Facultés des sciences Rabat, Maroc, 2006.
- (2) TESSON, Stéphane. *Un champ de force polarisable pour l'étude des argiles à l'échelle moléculaire*. Thèse de doctorat. Université Pierre et Marie Curie-Paris VI.2016
- (3) BOUCLY-NOROTTE, Véronique. *Évolution des caractéristiques mécaniques et de la perméabilité de matériaux argileux sous l'effet de sollicitations thermiques*. Thèse de doctorat. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.1991.
- (4) MRAD, Mohamad. *Modélisation du comportement hydromécanique des sols gonflants non saturés*. Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Lorraine-INPL.2005.
- (5) BRIGATTI, Maria Franca, GALAN, E., et THENG, B. K. G. Structures and mineralogy of clay minerals. *Developments in clay science*, 2006, vol. 1, p. 19-86.
- (6) CUISINIER, Olivier. *Comportement hydromécanique des sols gonflants compactés*. Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Lorraine-INPL.2002.
- (7) DERAFA, Garmia. *Synthèse et caractérisation de montmorillonite modifiée: application à l'adsorption des colorants cationiques*. Thèse de doctorat.2018.
- (8) SAMIRA, Bendou. *Utilisation des argiles traitées pour la décoloration des bains de teinture*. Thèse de doctorat. Boumerdès, Université M'hamed bougara. Faculté des Sciences de L'ingénieur.2009.
- (9) KADI Samir. Etude des propriétés structurale, texturale et application d'une argile locale de type 1:1 traitée thermiquement. Application à l'adsorption de  $Cd_2^+$  et  $Pb_2^+$ . Thèse de doctorat. Université de Mostaganem. D'ORAN, U. S. T. 2003
- (10) F, L' ARGILE, SON UTILISATION A L'OFFICINE, Thèse pour le Diplôme d'État de Docteur en Pharmacie, 2016pp14, 27,28
- (11) B. Velde. *Chapter 2: Composition and Mineralogy of Clay Minerals, in "Origin and Mineralogy of Clays, Clays and Environment" Ed Springer, (1995), 8 - 41p.*
- (12) E. Eslinger, D. Peaver, *Clay minerals for petroleum geologist and engineers, Economic paleontologists and mineralogists*, Tulsa, USA (1988). *Geological Magazine*, 1989, no 3, vol. 126, p. 324-324.
- (13) SAIYOURI, Nadia. Approche microstructurale et modélisation des transferts d'eau et du gonflement dans les argiles non saturées. In : *XIVèmes Journées de l'AUGC, Prix Jeunes Chercheurs René Houpert*. 1996.
- (14) BERGAYA, F. G. M. F., LAGALY, G., et VAYER, M. Cation and anion exchange. *Developments in clay science*, 2006, vol. 1, p. 979-1001.

- (15) MECHRAFI, E. Adsorption, désorption et mobilité des herbicides au contact des adsorbants organiques et minéraux. *Doctorat, Université Mohammed V-AGDAL, Rabat, Maroc*, 2002.
- (16) MONTACER, H. Contribution à l'étude du devenir de la terbuthylazine dans le sol et l'eau. *Doctorat d'Etat. Univ. Mohammed V, Faculté des Sciences-Rabat*, 1999.
- (17) BOUALLA, Nabila, and Ahmed BENZIANE. "Étude expérimentale sur l'élimination des nitrates par adsorption sur des argiles activées et non activées de la sebkha d'Oran (Algérie)." (2011).
- (18) DERAFA, Garmia. *Synthèse et caractérisation de montmorillonite modifiée: application à l'adsorption des colorants cationiques*. 2018. Thèse de doctorat.
- (19) MANCEAU, Alain, MARCUS, Matthew A., et TAMURA, Nobumichi. Quantitative speciation of heavy metals in soils and sediments by synchrotron X-ray techniques. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 2002, vol. 49, no 1, p. 341-428.
- (20) Chitour S., *Chimie des surfaces, Volume 2*, edition OPU.1992.
- (21) OUAKOUAK, Abdelkader. *Elimination du cuivre, des nitrates et des phosphates des eaux par adsorption sur différents matériaux..* Thèse de doctorat. Université Mohamed Khider-Biskra.2017.
- (22) BOUZIANE, Nouzha. *Elimination du 2-mercaptobenzothiazole par voie photochimique et par adsorption sur la bentonite et le charbon actif en poudre*. Thèse, UNIVERSITE MENTOURI DE CONSTANTINE 2007.



## **Chapitre 3. Matériels et Méthodes**

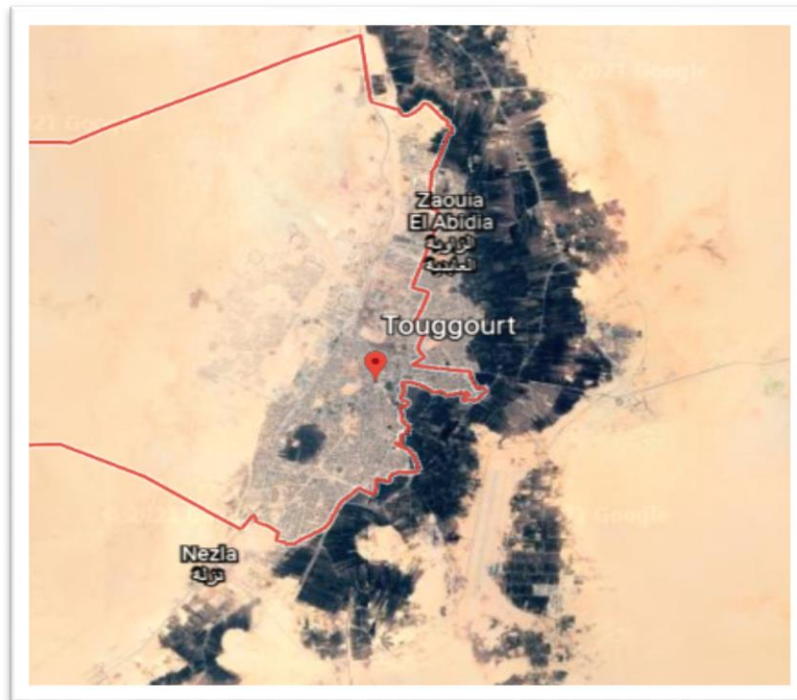




### III-1- L'échantillonnage et traitement d'argile :

#### III-1-1-lieu de prélèvement d'échantillon d'argile :

L'échantillon d'argile a été prélevé près de la ville de Blidet Omar, située à 25 km au sud de la ville de Touggourt dans la wilaya de Touggourt. Cette ville est située dans la vallée d'Oued Righ. Ses Coordonnées géographiques sont : latitude 32°56'27'' nord et longitude 5°55'45'' est.



**Figure6** : Image satellite de la ville de Touggourt.

#### III-1-2- Traitement de l'échantillon d'argile :

Le protocole suivi dans ce traitement sert à obtenir une argile purifiée. Ce protocole se présente dans les étapes suivantes :

-L'échantillon d'argile est broyé puis immergé dans l'eau pendant 24 heures.

-Ensuite, le mélange de l'argile et de l'eau est versé dans des béciers pour faciliter l'agitation. Le mélange est agité pendant 5 minutes, ce qui garantit un bon mélange des granules d'argile avec l'eau (image1, annexe1).

-Après l'agitation le mélange est passé au tamis de 40  $\mu\text{m}$  pour éliminer le limon (image2, annexe1)

-puis au tamis de 2 $\mu\text{m}$  pour obtenir seulement des granules d'argile. Le tamis utilisé est placé sur un erlenmeyer avec pompe à vide. On Remue avec une brosse pour accélérer le processus (image3, annexe1).

-On laisse stagner la quantité obtenue pendant 24 heures, puis l'excès de l'eau est débarrassé et l'argile met dans une étuve de température 105°C pendant 24 heures, pour que toute l'eau s'évapore et obtenir une argile sèche (image4,annexe1).

- L'argile sèche est broyée, pour un tamisage facile. On passer au tamis de 40 $\mu\text{m}$  pour prendre tous les granulés d'argile de la même taille (image5,annexe1).



**Figure7** : la forme finale d'échantillon d'argile.

### **III-2-L'échantillonnage et le traitement d'échantillons d'eaux usées :**

#### **III-2-1-Lieu de prélèvement d'échantillon de l'eau usée :**

Les eaux usées sont prélevées au niveau de la station d'épuration de Touggourt.

La station d'épuration des eaux usées de Touggourt est située à Ben Yass Oued, dans la commune de Tebsebest, sur la route d'El-Oued, elle s'étend sur une superficie de 5 hectares.

Latitude : 33°16' Nord, longitude : 6°04'Est .Située au Nord Est la wilaya de Touggourt. Elle a été mise en service le 20/11/1991, réhabilitée en 2003 et traite aujourd'hui une partie des rejets des eaux usées déversées par la ville de Touggourt.

La STEP a été dimensionnée pour une capacité de 62 500 équivalent/habitant, ce qui correspond à presque 33 % de la population qui avoisine les 180 000 pour les quatre communes du Grand-Touggourt. La capacité de traitement et qualité requise des eaux usées avant traitement sont : Débit moyen : 9 360 m<sup>3</sup> /j ; Débit de pointe : 3 90 m<sup>3</sup> /h ; Demande biologique en oxygène(DBO): 54 g/habitant ; Charge moyenne de DBO/j: 3 375 kg/j ; Charge moyenne de DCO/j: 5 625kg/j.



**Figure8** : Image satellite de la STEP de Touggourt.

-Les équipements de la station sont :

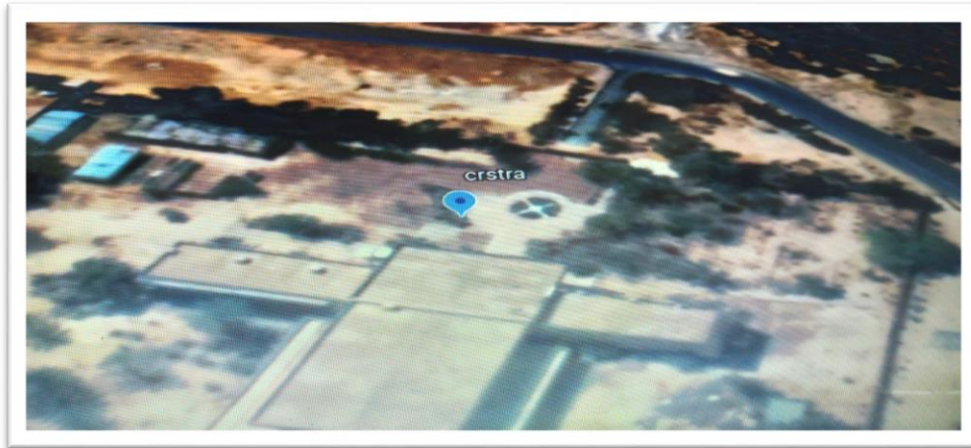
- Deux dégrilleurs (manuel et automatique) ;
- Un dessaleur et un déshuileur ;
- Deux bassins d'aération ;
- Deux clarificateurs
- Un épaisseur ;
- Un lit de séchage de 16 bassins.

### III-2-2-Présentation de la station de CRSTRA :

L'analyse de l'eau était réalisée au niveau du Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides (CRSTRA).

La station expérimentale milieu biophysique de l'Oued Righ (Touggourt) a été créée en 2007.

Elle se situe au sud de la ville de Touggourt sur la limite sud de la commune de Nezla à gauche de la route nationale N°3. La station s'étend sur une superficie de 0.9 hectare.



**Figure 9** : Image satellite de la station de CRSTRA.

### III-2-3-Traitement des échantillons d'eaux usées avec l'argile :

- *Analyse de l'eau :*

Les paramètres analysés ont compris : NT,  $\text{NH}_4^+$ , PT,  $\text{PO}_4^{3-}$

Les paramètres physiques : le pH,

#### A- Étude de l'influence de la vitesse d'agitation :

- *Les équipements et les produits utilisés :*

-6 flacons de 150 ml.

-3 agitateurs.

-Éprouvette graduée de 100ml.

-100 ml d'échantillon d'eaux usées.

-0,3 g argile purifiée.

-L'eau distillé.

- *les appareils utilisés :*

-Centrifugeuse

-Spectrophotomètre DR3900.

❖ *Mode opératoire :*

- le pH d'un échantillon d'eaux usées est mesuré par un pH-mètre. (image6, annexe1)
- Préparer 6 béchers de 150 ml et Peser 0, 3 de l'argile préalablement purifiée. Dans 100 ml d'eaux usées on verse la quantité d'argile pesée. (image7, annexe1)
- Agiter les béchers pendant 30 minutes en changeant de vitesse. (image8, annexe1)
- Après l'agitation, les échantillons sont placés dans une centrifugeuse afin de séparer l'eau de la suspension. (image9, annexe1)
- préparation des réactifs. (Annexe2)
- les valeurs d'absorption sont lues sur le spectrophotomètre DR3900. (image10, annexe1)



## **Chapitre 4. Résultats et discussions**



#### IV. Détermination des propriétés physiques et chimiques d'échantillon d'argile

Pour suivre l'adsorption des polluants dans l'eau utilisée sur les surfaces argileuses, il faut d'abord connaître les propriétés de l'argile utilisé dans ce processus et pour ce faire, nous avons commencé par nous documenter sur les propriétés de l'argile utilisé notamment dans le travail de Serraoui [13] qui a utilisé la même argile. Le sol de la région de Blidet Omar est constitué d'une quantité importante d'argile qui atteint les 52%. L'argile de cette région d'après les résultats de Serraoui [13] est constitué de 45% de kaolinite et 40% d'illite. La surface spécifique déterminée par la technique BET est égale à 113,7622 m<sup>2</sup>/g, la capacité d'échange de cations est égale à 20mm/100 g.

#### IV. L'élimination des composés azotés par l'argile :

##### IV-1. Effet de la vitesse d'agitation :

Dans ce processus, nous stabilisons la masse adsorbée, le temps de contact et nous modifions la vitesse d'agitation.

Les résultats obtenus sont rassemblés dans le tableau III et la figure 4

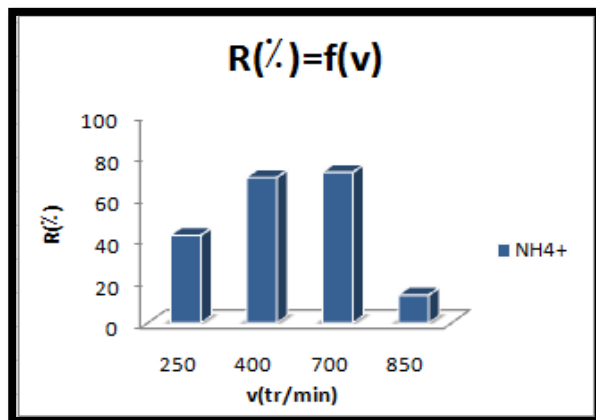
Conditions opératoires : pH=7,6 Temps de contact = 30 minutes, Masse de l'argile = 0,3 g

**Tableau III : Résultats du traitement en fonction de la vitesse d'agitation**

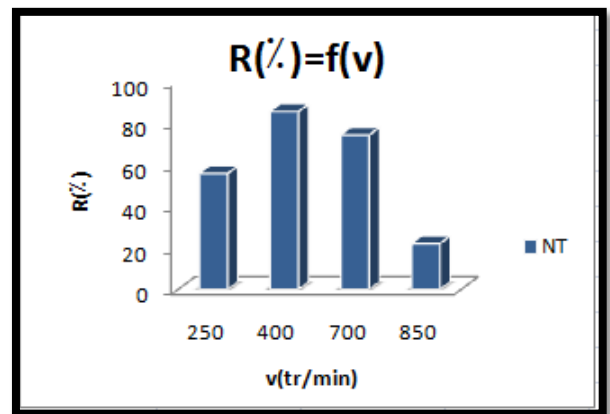
	<i>EUB</i>	<i>EUT</i>			
<i>VITESSE</i> (tour/min)	<i>0</i>	<i>250</i>	<i>400</i>	<i>700</i>	<i>850</i>
<i>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></i>	<i>20.1</i>	<i>15</i>	<i>13</i>	<i>21.3</i>	<i>15</i>
<i>NT</i>	<i>41.8</i>	<i>8.81</i>	<i>6.03</i>	<i>3.94</i>	<i>3.63</i>
<i>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></i>	<i>1.93</i>	<i>1.51</i>	<i>1.44</i>	<i>1.47</i>	<i>1.42</i>
<i>PT</i>	<i>3.13</i>	<i>2.71</i>	<i>2.44</i>	<i>2.40</i>	<i>2.40</i>

**Tableau IV : Résultats du rendement en fonction de la vitesse d'agitation**

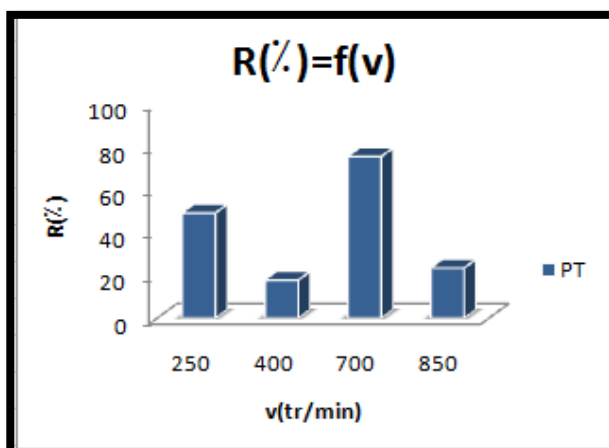
	<i>250</i>	<i>400</i>	<i>700</i>	<i>850</i>
<i>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></i>	<i>42.17</i>	<i>78.92</i>	<i>72.51</i>	<i>13.41</i>
<i>NT</i>	<i>55.78</i>	<i>85.57</i>	<i>74.30</i>	<i>22.04</i>
<i>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></i>	<i>27.55</i>	<i>90.57</i>	<i>76.59</i>	<i>23.32</i>
<i>PT</i>	<i>48.97</i>	<i>17.70</i>	<i>75.31</i>	<i>23.32</i>



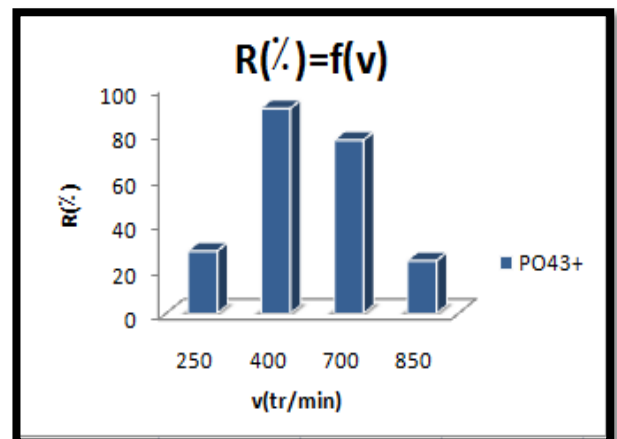
**Figure 10** : Rendement de  $\text{NH}_4^+$ .



**Figure 11** : Rendement de NT.



**Figure12** : Rendement de PT.



**Figure13** : Rendement de  $\text{PO}_4^{3+}$ .

### Discussion des résultats :

La concentration des composés de l'azote dans les eaux usées de la station d'épuration de Touggourt avant le traitement sont du même ordre que celles généralement observées pour les usées urbaines.

La concentration des composés du phosphore sont légèrement inférieures que celles généralement observées pour les usées urbaines (Rejsek, 2002).



Après le traitement, des taux d'élimination très significatifs ont été obtenus, ils dépassent les 75% dans tous les cas. Plus de 78% des ammoniums sont éliminés, 85% de l'azote total, 90% des orthophosphates et 75% du phosphore total.

On constate que l'augmentation de la vitesse d'agitation est jusqu'à une certaine mesure plus favorable à l'élimination des nutriments, jusqu'à 400 tr/min pour l'élimination des ammoniums, de l'azote total et des orthophosphates et jusqu'à 700 tr/min pour le phosphore total. Cette augmentation pourrait s'interpréter par le fait que la vitesse jusqu'à une certaine mesure provoque une dispersion plus importante des particules ce qui conduit à un meilleur contact avec la surface de l'argile.

### ❖ Les meilleurs rendements obtenus

Notre travail devait se poursuivre en étudiant l'influence du temps de contact et de la masse de l'adsorbant, afin de déterminer les conditions optimales pour l'élimination des divers nutriments, mais après un ensemble d'expériences nous n'avons pu élucider d'une façon cohérente l'influence de ces deux facteurs.

Se trouvant dans l'impossibilité de reprendre mes expériences et les compléter avec d'autres, nous avons décidé de nous focaliser sur les meilleurs rendements que nous avons pu obtenir quelque soit les conditions opératoires.

Les résultats obtenus sont rassemblés dans les tableaux V ;VI ;VII ;VIII

#### IV.1-1- Meilleur rendement pour $\text{NH}_4^+$ :

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau V

**Tableau V : Rendements obtenus pour  $\text{NH}_4^+$**

Vitesse (tr/min)	Temps (min)	la masse(g)	Rendement $\text{NH}_4^+$
250	30	0,3	42,17
850	30	0,3	48,97
700	45	0,3	37,57
700	45	0,5	45,22

400	30	0,3	55,78
850	15	0,4	7,53
250	60	0,1	4,52
400	120	0,3	50,31
250	15	0,2	63,69
550	120	0,1	50,31

Le meilleur rendement que nous avons pu atteindre est de **63,69%**.

#### IV-1.2 Meilleur rendement pour l'azote total :

**Tableau VI. : Rendements obtenus pour l'azote total**

Vitesse (tr/min)	Temps (min)	La masse(g)	Rendement NT
400	30	0,3	85,57
700	45	0,3	19,6
250	30	0,2	63,73
850	60	0,1	22,04
700	120	0,1	50,31
400	45	0,5	37,57
700	30	0,4	74,3
550	120	0,5	64,28
850	60	0,4	41,08

Le meilleur rendement que nous avons pu atteindre est de **85,57%**.

### IV-1-3 Meilleur rendement pour les orthophosphates :

**Tableau VII : Rendements obtenus pour les orthophosphates**

Vitesse (tr/min)	Temps (min)	Masse(g)	Rendement $\text{PO}_4^{3+}$
850	60	0,3	32,32
850	45	0,3	45,88
550	15	0,3	46,66
700	15	0,3	76,59
700	60	0,3	46,27
400	45	0,3	90,57
250	60	0,3	46,27
400	120	0,3	94,65
250	120	0,3	32,33

Le meilleur rendement que nous avons pu atteindre est de **94,65%**.

### I V-1-4- Meilleurs rendements pour le phosphore total :

**Tableau VIII: Rendements obtenus pour le phosphore total**

Vitesse (tr/min)	Temps (min)	La masse(g)	Rendement PT
700	30	0,3	75,31
550	30	0,3	61,48
400	60	0,2	17,7

700	60	0,2	54,9
550	15	0,1	66,29
400	15	0,1	66,29
850	45	0,4	23,32
250	45	0,4	84,97
850	120	0,5	68,51
250	120	0,5	14,45

Le meilleur rendement que nous avons pu atteindre est de **84,97%**.

A yellow scroll graphic with a light yellow background and a darker yellow border. The scroll is unrolled in the middle, with the top and bottom edges curled up. The word "Conclusion" is centered on the unrolled part.

# *Conclusion*

## Conclusion

Les nutriments (composés de l'azote et du phosphore) bien que responsable du phénomène d'eutrophisation ne sont pas éliminés par les stations d'épuration classiques. L'élimination de ces composés nécessite de lourds investissements.

Dans ce mémoire, nous testons dans quelle mesure l'adsorption sur une argile locale des composés de l'azote et du phosphore peut être utilisée comme alternative pour leur élimination des eaux usées.

Dans ce cadre l'argile de la région de Blidet Omar a été utilisée pour l'élimination des nutriments.

La première partie de ce travail est consacrée à la purification de l'argile.

Dans une deuxième étape de ce travail et après avoir étudié l'influence de la vitesse d'agitation sur le rendement d'élimination des nutriments, nous nous sommes intéressés à savoir dans quelle mesure cette argile peut-elle être utilisée dans l'élimination des composés de l'azote et du phosphore des eaux usées de la région de Touggourt.

Les travaux antérieurs ont montré que le pourcentage d'argile dans le sol est de 52,2% et que sa caractérisation faite par DRX et FTIR montre qu'il s'agit d'un mélange d'illite et de kaolinite. La surface spécifique déterminée par la technique BET est égale à 113,7622 m<sup>2</sup>/g, la capacité d'échange de cations est égale à 20mM/100 g.

Les résultats de traitement de l'eau montrent que des rendements d'élimination des nutriments très significatifs ont été obtenus : 63,69% pour l'ammonium, 64,28% pour l'azote total, 94,65% pour les orthophosphates et 84,97% pour le phosphore total.

Nos résultats de l'étude de l'influence de la vitesse d'agitation montrent que celle-ci influe sur le rendement d'élimination.

L'efficacité d'élimination des nutriments des eaux usées peut être améliorée en mettant en œuvre une gamme de techniques qui permettent d'augmenter la capacité d'adsorption de l'argile.

À titre de recommandations, on peut suggérer :

-Une modification des propriétés physico-chimiques de l'argile en l'activant à l'aide d'acides ou de bases, ou par chauffage à haute température pour améliorer la surface spécifique afin d'augmenter la capacité d'adsorption.

-Ajout de matériaux qui aident à la coagulation et au frittage, tels que l'oxyde de fer ou d'aluminium, et autres.

-Élargir le champ d'étude à d'autres zones géographiques en Algérie.



# **Annexes**





# Annexe 1



Image1 : processus d'agitation.



Image2 : processus de tamisage à travers un tamis 40  $\mu\text{m}$ .



Image3 : processus de tamisage à travers un tamis 2  $\mu\text{m}$ .



Image4 : processus de séchage de l'argile.



Image 5 : processus de broyage d'argile.



Image 5 : processus de tamisage à travers un tamis 40  $\mu\text{m}$ .



Image 6 : L'échantillonnage d'eau usée.



Image7 : processus d'agitation.

Image8 : processus centrifugation.

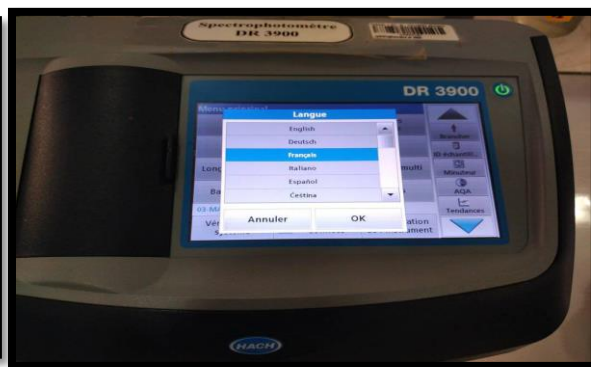


Image 9 : les échantillons après la centrifugation

Image10 : spectrophotomètre DR3900





Image 11 : Réactif d'ammonium

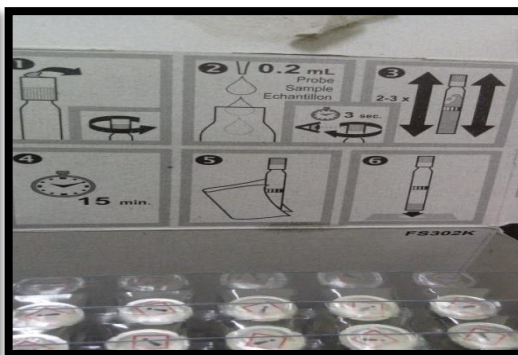


Image 12 : méthode d'ammonium

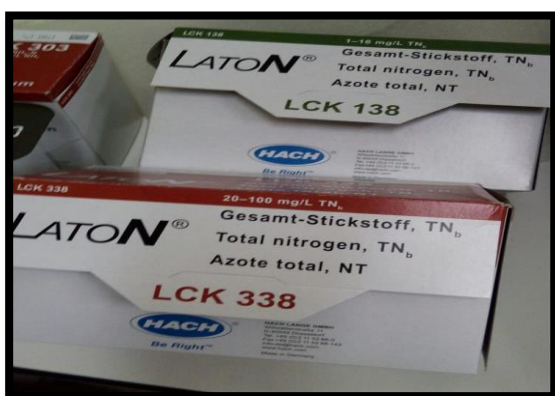


Image 13 : Réactif d'azote

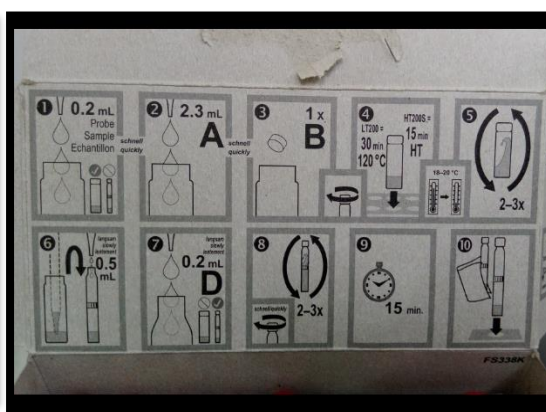


Image 14 : méthode d'azote

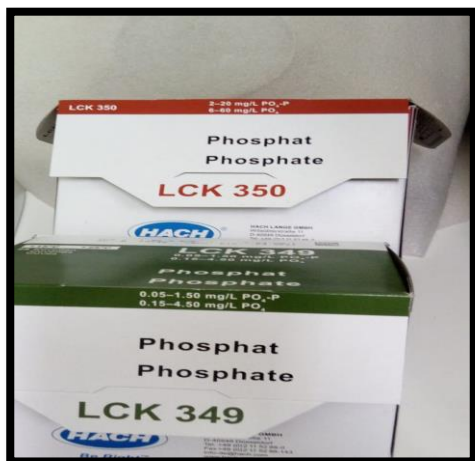


Image 15 : Réactif de phosphate

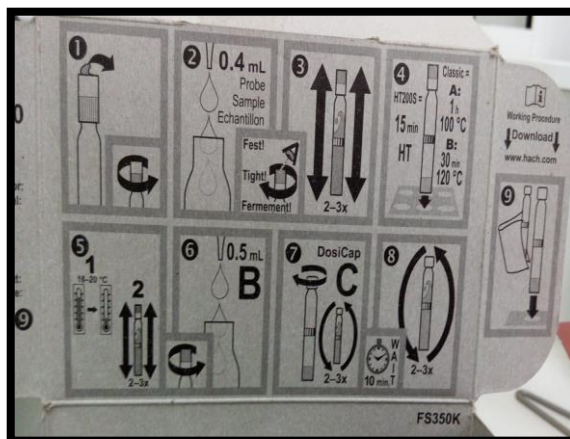


Image 16 : méthode de phosphate

## Annexe 2 :

### I- La mesure des concentrations :

#### I-1. La concentration de NT

##### Les produits utilisés :

-100 ml de l'eau à analyser.

Eau distillé.

-Pipette de 10 ml

Les réactif du azote totale LCK 338, LCK138

-Support.

##### Les appareils utilisés :

-Thermo réacteur AL 125

-Un spectrophotomètre (DR3900).

##### Mode opératoire :

--Pour l'achèvement du processus de mesure, suivez le protocole blogueur dans le boitier du caddy ,

Nous sortons des tuyaux du détecteur de la boite et nous creuserons ensuite de 0 a 5.

-Note 0.2 de l'échantillon

-Nous ajoutons 0.3ml de produit A dans les 6 tube

-Ensuite ;poses un comprimés de B dans 6 tube

-Mettre des échantillons dans le thermo réacteur chauffer une demi-heure quand une température est de 120 C° il a été refroidi 15 min et mélanger 2-3 fois .

-Nous sommes 0.5 ml de l'échantillon et le mettre dans les réactif.

- Ajouter 0.2ml de produit D dans toute tube la couverture et décollerons.

-Nous sommes en retour de 2 a 3 fois et laissez le 15 min repose.

-Dans le dernier, nous essuions bien le tube et entrez -le dans uns appareil DR3900 après avoir ajusté de manière a lire un moyen de lecteur selon le programme de codes barre.

-Le phénomène de résultat du sandon est unité mg /l .

#### II-2. La concentration de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

##### Les produits utilisés :

-100 ml de l'eau à analyser.

Eau distillé.

-Pipette de 10 ml

Les réactif du azote Ammonium LCK 302, LCK303

-Support.

##### Les appareils utilisés :

-Un spectrophotomètre (DR3900).

##### Mode opératoire :

-Pour l'achèvement du processus de mesure, suivez le protocole blogueur dans le boitier du caddy.

- Premièrement, nous sortons des tuyaux du détecteur de la boite et nous creuserons ensuite de 0 a 5.

Nous ouvrons le couvercle du tube 0.2 ml et ajoutons chacun des quels l'échantillon d'eau est utilisé avant et après le traitement.

-Fermez le tube et allez bien, laissez un support de 15 min.

-Après la fin de la période, nous essuyons bien le tube et entrez –le dans un appareil DR3900 après avoir ajusté de manière à lire un moyen de lecteur selon le programme de codes barre.

– Après l'avoir réglé par la méthode DR, après l'expiration du délai, nous essuyons bien le tube et l'insérons dans l'appareil 3900 Codes des programmes barre

### **II-3. La concentration de PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> :**

#### **Les produits utilisés :**

-100 ml de l'eau à analyser. -

Eau distillé. -

-Pipette de 10 ml -

Les réactif du phosphate LCK 349, LCK350

-Support.

#### **Les appareils utilisés :**

-Un spectrophotomètre (DR3900).

#### **Mode opératoire :**

-Pour l'achèvement du processus de mesure, suivez le protocole blogueur dans le boitier du caddy.

- Premièrement, nous sortons des tuyaux du détecteur de la boîte et nous creuserons ensuite de 0 a 5.

Nous ouvrons le couvercle du tube 0.2 ml et ajoutons chacun des quels l'échantillon d'eau est utilisé avant et après le traitement.

- Ensuite, nous sommes 0.5 ml de produite B et pousse dans tous les tube

- Nous changeons des bouchons dans les boites C.

–Fermez le tube et agitez bien, puis laissez-le sur le porte-tube pendant 15 minutes. Après l'avoir réglé par la méthode DR, après l'expiration du délai, nous essuyons bien le tube et l'insérons dans l'appareil 3900 Codes des programmes barre

-Notez le résultat affiché à l'écran en mg / l

### **II-4. La concentration de PT :**

#### **Les produits utilisés :**

-100 ml de l'eau à analyser. -

Eau distillé. -

-Pipette de 10 ml -

Les réactif du azote totale LCK 349, LCK350

-Support.

#### **Les appareils utilisés :**

-Thermo réacteur AL 125

-Un spectrophotomètre (DR3900).

#### **Mode opératoire :**

--Pour l'achèvement du processus de mesure, suivez le protocole blogueur dans le boitier du caddy ,

Nous sortons des tuyaux du détecteur de la boîte et nous creuserons ensuite de 0 à 5.

-Note 0.4de l'échantillon.-Enlevez le couvercle et secouez 2a 3 fois.

-Mettre des échantillons dans le thermo réacteur chauffer une demi-heure quand une température est de 120 C° il a été refroidi 15 min et mélanger 2-3 fois. -

Ajouter 0.5 ml de produit B dans tout tube. -

Nous changeons des bouchons dans les boites C. -

Nous sommes en retour de 2 à 3 fois et laissez le 10 min repose.

-Dans le dernier, nous essuyons bien le tube et entrez –le dans un appareil DR3900 après avoir ajusté de manière à lire un moyen de lecteur selon le programme de codes barre

