



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

Université de Ghardaïa

N° d'enregistrement

/...../...../...../...../.....

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم هندسة طرائق

Département de Génie des procédés

Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme

Master

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Génie chimique

Thème

Estimation de taux de la matière azoté dans un sable destiné au traitement des eaux usée.

Présenté par :

BELKOU NOUR ELHOUDA

BOUCHAREB SELSABIL

Soutenue publiquement le 15 /06/2025

Devant le jury composé de :

BABA ARBI Ilias	MCA	Université Ghardaïa	Président
BOUAMER Khaira	MCB	Université Ghardaïa	Encadrant
MOULAI Kerroumia	MCA	Université Ghardaïa	Examineur
BENTARFA djehad	MCA	Université Ghardaïa	Examineur

Année universitaire: 2025/2024

Résumé:

Les composés azotés, tels que l'ammonium (NH_4^+), le nitrite (NO_2^-) et le nitrate (NO_3^-), sont des contaminants environnementaux courants dans l'eau, en particulier dans les eaux souterraines et les eaux usées. Ces composés présentent un risque pour la santé publique et l'environnement lorsqu'ils sont présents en fortes concentrations. La compréhension du comportement de ces composés et de leurs transformations chimiques au cours des processus de traitement, tels que la filtration sur sable, est essentielle pour améliorer l'efficacité de l'élimination de l'azote et réduire les risques liés à l'azote. Grâce à cette analyse, nous avons constaté que l'augmentation de la concentration de nitrate dans l'eau traitée est due à une réaction d'oxydation progressive des composés azotés, en commençant par l'ammonium, puis le nitrite, et en terminant par le nitrate. Ces résultats témoignent de l'efficacité du processus de filtration sur sable à catalyser le processus de nitrification. Cependant, l'accumulation de nitrates est un autre défi environnemental qui nécessite des étapes de traitement supplémentaires, telles que la dénitrification. Par conséquent, cette étude recommande une surveillance continue des concentrations de composés azotés aux différentes étapes du traitement et une recherche sur l'optimisation des techniques finales d'élimination des nitrates afin de garantir la qualité de l'eau et de la protéger contre la pollution.

Mots-clés : ammonium, nitrite, nitrate, filtration sur sable, nitrification, oxydation, dénitrification.

الملخص :

تعتبر مركبات النيتروجين، مثل الأمونيوم (NH_4^+)، والنيتريت (NO_2^-) والنترات (NO_3^-)، من الملوثات البيئية الشائعة في المياه، وخاصة في المياه الجوفية ومياه الصرف الصحي. تشكل هذه المركبات خطراً على الصحة العامة والبيئة عند وجودها بتركيزات عالية. ويُعد فهم سلوك هذه المركبات وتحولاتها الكيميائية أثناء عمليات المعالجة، مثل الترشيح بالرمل، أمراً ضرورياً لتحسين كفاءة إزالة النيتروجين والحد من المخاطر المرتبطة بالنيتروجين. ومن خلال هذا التحليل، وجدنا أن الزيادة في تركيز النترات في المياه المعالجة ترجع إلى تفاعل أكسدة تدريجي لمركبات النيتروجين، بدءاً من الأمونيوم، ثم النيتريت، وانتهاءً بالنترات. وتوضح هذه النتائج فعالية عملية الترشيح بالرمل في تحفيز عملية النتجة. ومع ذلك، يمثل تراكم النترات تحدياً بيئياً آخر يتطلب خطوات معالجة إضافية، مثل نزع النترات. وبالتالي، توصي هذه الدراسة بالمراقبة المستمرة لتركيزات مركبات النيتروجين في مراحل المعالجة المختلفة والبحث في تحسين تقنيات الإزالة النهائية للنترات من أجل ضمان جودة المياه وحمايتها من التلوث.

الكلمات المفتاحية: الأمونيوم، الأمونيوم، النيتريت، النترات، الترشيح بالرمل، النترة، الأكسدة، نزع النترة.

ABSTRACT

Nitrogen compounds, such as ammonium (NH_4^+), nitrite (NO_2^-) and nitrat (NO_3^-), are common environmental contaminants in water, particularly in groundwater and wastewater. These compounds pose a risk to public health and the environment when present in high concentrations. Understanding the behavior of these compounds and their chemical transformations during treatment processes, such as sand filtration, is essential for improving nitrogen removal efficiency and reducing nitrogen-related risks. Through this analysis, we found that the increase in nitrate concentration in treated water is due to a progressive oxidation reaction of nitrogen compounds, starting with ammonium, then nitrite, and ending with nitrate. These results testify to the effectiveness of the sand filtration process in catalyzing the nitrification process. However, nitrate accumulation is another environmental challenge that requires additional treatment steps, such as denitrification. Consequently, this study recommends continuous monitoring of nitrogen compound concentrations at different treatment stages and research into optimizing final nitrate removal techniques to ensure water quality and protect it from pollution.

Key words: ammonium, nitrite, nitrate, sand filtration, nitrification, oxidation, denitrification



Remerciements



Nous tenons à remercier le Professeur et Superviseur Bouamer Khaira pour nous avoir accompagnés tout au long de la réalisation de ce travail, et pour les précieux conseils, orientations et facilités qui nous ont aidés à rédiger notre thèse.

Nous remercions également le personnel du Laboratoire d'Ingénierie des Méthodes, M. Jaber, Mme Saliha, et Mme Iman, qui nous ont donné des instructions précieuses qui ont eu un grand impact sur notre soutien pratique dans le laboratoire, et leur souci constant de notre sécurité.

Nous remercions également les membres du jury, présidé par Mme Moulaye Kromia, pour leur attention et leur évaluation de notre thèse.

Nous remercions également le personnel du Laboratoire Algérien des Eaux - Unité de Ghardaïa, dirigé par Monsieur Makhlof, pour leur contribution active et leur coopération qui ont facilité la réalisation de cette étude.

Que Dieu bénisse les efforts de chacun et leur accorde la meilleure récompense.



Au nom de Dieu, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux Que la paix et les bénédictions soient sur le plus noble des prophètes et des messagers

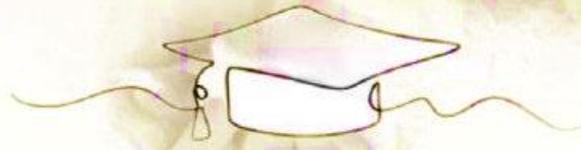
Avant tout, je remercie Dieu avec sincérité. Sans Sa grâce, rien de tout cela n'aurait été possible. Je Le loue pour l'accomplissement de ce parcours et pour la joie de cette réussite. Tout ce que j'ai accompli, je l'ai fait grâce à Lui. Les années ont passé, la fatigue s'est effacée, et aujourd'hui je me tiens fièrement devant ce rêve devenu réalité. Je le porte comme une couronne avec gratitude et fierté.

Je dédie mon diplôme, en premier à mon père bien-aimé – que Dieu lui accorde Sa miséricorde Même en son absence, il reste présent dans mon cœur. Je suis diplômée, papa, mais ma joie est incomplète sans toi. J'aurais voulu que tu sois là, le premier à m'encourager, à être fier de moi. Je l'ai fait pour toi, papa. Repose en paix, Sois fier de ta fille depuis les cieux, Mon plus grand honneur a toujours été de porter ton nom.

À ma chère maman, Tu as été mon soutien le plus fort, mon refuge dans les moments difficiles, et la main qui m'toujours soutenue. Tu m'as montré le bon chemin et appris la force et la dignité. Tes prières m'ont protégée, ta patience m'a éclairée. Je te suis profondément reconnaissante.

À mes frères et sœurs Vous avez été ma base, ma sécurité, ma force constante. Votre amour et votre soutien ont toujours été là. Je vous dédie aussi cette réussite

NOUREL HOUDA



Dédicaces

Nous n'atteignons pas les débuts sans Sa facilitation, nous n'atteignons pas les fins sans Sa réussite, et nous n'atteignons pas les fins sans Sa réussite, alors remercions Dieu qui a facilité cette étape de ma carrière académique.

Je dédie mon diplôme avec fierté et honneur à mon père bien-aimé, que Dieu prolonge ta vie, toi source de sécurité, de tendresse, de succès et d'inspiration, merci pour ta confiance en moi, que je n'ai jamais démentie et qui a été une raison de ce succès, à ma mère bien-aimée et patiente qui a attendu longtemps ce moment accompagné de belles prières et d'invitations, et à ma mère bien-aimée et patiente qui a attendu longtemps ce moment accompagné de belles prières.

À mes sœurs Nazîha et Nadia, source de mon bonheur, merci pour votre présence constante.

À ma compagne de voyage, amie et amante Huda, les mots ne peuvent te décrire, nos journées d'études suffisent à transmettre les souvenirs et les moments que nous avons passés ensemble, et je n'oublierai pas ma supportrice et amie chaimaa Siradj, merci pour tes conseils, ton soutien et ton optimisme, je n'oublierai jamais ta gentillesse que je n'ai jamais oubliée, notre amitié a duré pour l'éternité.

Enfin, celle qui a dit : je suis à elle, même si elle a refusé contre son gré, je ne l'aurais pas fait sans la grâce de Dieu, Dieu merci.



S'ELSABIL

Liste des Tableaux

Tableau	Tire	Page
Tableau II.1	Courbe d'étalonnage de NO_3^-	27
Tableau II.2	Courbe d'étalonnage de NO_2^-	30
Tableau II.3	Courbe d'étalonnage de NH_4^+	32
Tableau III.1	Les résultats d'analyse chimique des composés azotés (NH_4^+, NO_2^-, NO_3^-) de L'extrait de sable	42
Tableau III.2	Les résultats d'analyse chimique des composés azotés (NH_4^+, NO_2^-, NO_3^-) des eaux usées sortant de la station	42
Tableau III.3	Les résultats d'extrait de sable, eau usée sortant de la station et leur Filtrat à plusieurs niveaux de sable	42

Liste des figures

Figures	Titres	Pages
Figure I .1	Installation courante avec traitement par boues activées	09
Figure I .2	Mécanismes d'élimination de l'azote en station d'épuration	17
Figure I .3	Filtres à sable rapide	22
Figure II.1	Sable d'oude metlili	24
Figure II.2	Eaux usée utilisée	25
FigureII.3	Solution étalonnage de NO_3^-	28
Figure II 4	Solution étalon de nitrite	30
Figure II.5	Solution étalon d'Ammoniac	33
Figure II.6	Pilot TE 400cm	36
Figure II.7	Filtration à sable sur une hauteur de 25 et 45 cm	36
Figure II.8	Les échantillons après et avant la filtration de nitrate	37
Figure II.9	Les échantillons après et avant la filtration de nitrite	37
Figure II.10	Les échantillons après et avant la filtration d'ammonium	38
Figure III.1	Courbe d'étalonnage de NO_3^-	40
Figure III.2	Courbe d'étalonnage de NO_2^-	41

Liste des figures

Figure III.3	Courbe d'étalonnage de NH_4^+	41
Figure III.4	NH_4^+ à différentes hauteurs du filtre	43
Figure III.5	NO_2^- à différentes hauteurs du filtre	44
Figure III.6	NO_3^- à différentes hauteurs du filtre	44

Liste d'abréviations

MES	Les matières en suspension
MS	Matières totales ou matières sèches
pH	Potentiel d'Hydrogène.
DBO	Demande biochimique en oxygène
DBO₅	demande en oxygéné pendant 5 jour.
DCO	Demande biochimique en oxygène
MO	matière organique
OD	oxygène dissous
UV	Ultra visible.
DN	Diamètre Nominal
PVC	PolyVinyl Chloride
MMS	Matières en Suspension Minérales
MVS	Matières en Suspension Volumiques
TDS	Total Dissolved Solids

Table de matières

Table des matières

Liste des figures	
Liste des abréviations	
Introduction générale.....	2
I .1.Les eaux usées	4
I.1.1.Définition des eaux usées	4
I.1.2.Origines des eaux usée	4
I.1.2.1.Les eaux usées domestiques	4
I.1.2.2.Les eaux usées industrielles	4
I.1.2.3.Les eaux agricoles	5
I.1.2.4.Les eaux pluviales	5
I.1.3.Le traitement des eaux usées	5
I.2.Pollution des eaux	10
I.2.1.Définition de la pollution	10
I.2.2.Types de pollution.....	10
1.2.2.1. Pollution biologique	10
1.2.2.2. Pollution chimique	11
I.2.3.Paramètres de pollution de l'eau.....	11
I.2.3.1.Paramètres physique.....	11
I.2.3.2. Paramètres chimiques	12
I. 3. L'azote	14
I.3.1.Sources de pollution par l'azote	14
I.3.2.L'azote dans le sol	14
I.3.3. Cycle de l'azote	14
I.3.4.Nitrification	15
I.4.Les mécanismes contribuant au traitement de l'azote	15
I.4.1. décantation	16
I.4.2. Ammonification	16
I.4.3. Assimilation	18
I.4.4.Nitrification biologique	18
I.4.5. Dénitrification biologique	19
I.5.Sable de dune	20
I.5.1.Définition	20
I.5.1.1.Qu'est-ce qu'une dune?	21
I.5.2.Composition chimique	21
I.5.3.Utilisation du sable de dune	21

Table de matières

I.6.Filtration	21
I.6.1.La filtration lente sur sable	22
1.6.2. La filtration rapide sur sable	22
II.1 Introduction	24
II.2 Analyse de sable	24
II.2 .1.Caractérisation du matériau filtrant	24
II.2.1.1.Choisir le meilleur sable pour filtrer les eaux usées	24
II .3 Lieux de Prélèvement des eaux usées	25
II.4. première étape : Extraction de sable	25
II.4. 1 .Échantillons solides autres que les fumiers	25
II.4.1.1.Dosage de nitrate	26
II.4.1.2. Dosage des ions nitrites	29
II.4.1.3. Dosage de l'ammonium	31
II.5.Deuxième étape : filtration de l'eau usée traité	33
II.5.1.L'échantillon d'eau usée utilisée	33
II.5.2 Description et fonctionnement du pilote TE 400	34
II.5.3.Les différentes phases de la filtration	36
II.5.3.1.Filtration à sable sur à différent hauteur	36
II.5.4. Paramètre chimique	36
II.5.4.1. Analyse des eaux usées traitées avant et après la filtration	36
II.6. Conclusion	38
III. 1Résultats d'analyses	40
III.1.1. Résultats d'analyse chimique de l'extrait de sable et des eaux filtrées	40
III.1.1.1.Les courbes d'étalonnage	40
III.2.Paramètres des pollutions : Ammonium NH₄⁺, Nitrite NO₂⁻ et Nitrate NO₃⁻	43
Conclusion général	47
Références bibliographies	
Annexe	

*Introduction
générale*

Introduction générale

Face à l'accroissement de la population mondiale combinée à une urbanisation croissante, l'accès à l'eau potable et à l'assainissement représente encore aujourd'hui un enjeu vital pour beaucoup de villes, notamment dans les pays en développement. L'assainissement désigne l'ensemble des techniques de collecte, de transport et de traitement des eaux usées avant rejet dans le milieu naturel. Il peut se concevoir à l'échelle d'une agglomération (assainissement collectif) ou d'habitations non raccordées à un réseau d'égout collectif (assainissement autonome). Les stations d'épuration du futur tendent à devenir de véritables usines de valorisation des eaux usées afin de produire de l'énergie verte, des matières fertilisantes et des métaux précieux et afin de réutiliser les eaux usées traitées. [34]

L'évacuation des eaux usées déplaçait le problème des nuisances hors des villes et générait une pollution de plus en plus inacceptable des eaux superficielles. Les premières techniques d'épuration sont alors apparues dans les années 1860 avec répandage des eaux usées brutes sur des sols sableux afin d'utiliser le pouvoir épurateur du sol tout en augmentant les productions agricole et maraîchère. [34]

Les eaux usées urbaines contiennent de très nombreux composés organiques et inorganiques présents dans les eaux-vannes (chargées d'urine et de matières fécales), les eaux sales issues de la préparation des aliments, de la buanderie et des salles de bains et dans les eaux de ruissellement. Sur le plan analytique et réglementaire, la caractérisation des eaux usées brutes et traitées fait appel à des paramètres globaux (exprimés en mg/l) qui intègrent un ensemble de polluants. [34]

L'objectif de ce travail est suite à des études précédentes la filtration des eaux usées sur un sable locale d'oude metlili choisi à différents hauteurs, à révéler que le taux des éléments de pollutions ammonium et nitrites a diminué alors que le taux de nitrate a augmenté. L'objectif est de chercher la cause de l'augmentation des nitrates et d'essayer de chercher leur origine et de vo Ce mémoire est sectionner fractionné à trois chapitres :

Le premier chapitre : décrit la synthèse bibliographique sur les caractéristiques des eaux usées d'assainissement et ces compositions et leur norme de traitement.

Le deuxième chapitre : c'est la présentation de matériel et des méthodes utilisés. Nous avons commencé par l'extraction de sable, qui a ensuite été analysé. Des analyses ont également été effectuées sur les eaux usées, ainsi que sur les eaux filtrées à différents niveaux.

Le troisième chapitre : Pour conclure, nous avons analysé les résultats obtenus et dégagé une conclusion générale.

CHAPITRE I
Synthèse
Bibliographie

Introduction

L'eau est un élément essentiel, indispensable à la vie des êtres vivants et surtout à celle de L'homme. Elle est certainement la substance qui nous est le plus familière. La terre est une "planète bleue" qui, vue de l'espace, apparaît couverte par d'océans et de calottes neigeuses. même la biosphère ,dont nous faisant partie, est composée principalement de l'eau, puisqu'elle représente 70% de la masse totale des organismes vivants. [29]

L'eau n'est pas seulement une source d'oxygène et d'hydrogène mais elle est le constituant le plus abondant des êtres : l'homme en contient 60% de son poids, un végétal jusqu'à 95% les graminées des prairies en contiennent 79%, Source et milieu de vie, solvant de lavage et de transport de minéraux, régulateur thermique ,l'eau possède des propriétés remarquables et essentielles à tous les êtres vivants et au maintien des propriétés environnementales de la planète. [29]

I.1. Les eaux usées

I.1.1. Définition des eaux usées

Les eaux usées sont toutes les eaux des activités domestiques, agricoles et industrielles chargées en substances toxiques qui parviennent dans les canalisations d'assainissement. Les eaux usées englobent également les eaux de pluies et leur charge polluante, elles engendrent au milieu récepteur toutes sortes de pollution et de nuisance. Donc sous la terminologie d'eau résiduaire, on groupe des eaux d'origines très diverses qui ont perdu leur pureté ; c'est-à-dire leurs propriétés naturelles sous l'effet des polluants après avoir été utilisées dans des activités humaines (domestiques, industrielles ou agricoles) [1]

I.1.2. Origines des eaux usée

I.1.2.1. Les eaux usées domestiques

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont constituées essentiellement d'excréments humains, des eaux ménagères de vaisselle chargées de détergents, de graisses appelées eaux grises et de toilette chargées de matières organiques azotées, phosphatées et de germes fécaux appelées eaux noires [2]

I.1.2.2. Les eaux usées industrielles

Les eaux usées industrielles proviennent de sites utilisés à des fins commerciales ou industrielles (garages, imprimeries, entreprises agro-alimentaires, entreprises de construction

métallique, usines). Elles contiennent au moins une des substances dangereuses Les eaux usées industrielles contiennent en plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques et des hydrocarbures [3]

I.1.2.3. Les eaux agricoles

L'agriculture est une source de pollution des eaux non négligeable car elle apporte les engrais, les pesticides et les oligoéléments. Elle est la cause essentielle des pollutions diffuses. Les eaux agricoles issues des terres cultivées chargés d'engrais nitrates et phosphates, sous une forme ionique ou en quantité telle, qu'ils ne seraient pas finalement retenus par le sol et assimilés par les plantes, conduisent par ruissellement à un enrichissement en matières azotées ou phosphatées des nappes les plus superficielles et des eaux des cours d'eau ou des retenues [2]

I.1.2.4. Les eaux pluviales

Les eaux pluviales sont issues du ruissellement des toitures et terrasses, des parkings et des voies de circulation et ont pour destination le milieu naturel. Longtemps considérées comme "propres", il est aujourd'hui reconnu que ces eaux se chargent de nombreux résidus, pollution issue de rejets automobiles, det est jeté sur la chaussée, eau de lavage des véhicules, décharges sauvages [3]

I.1.3. Le traitement des eaux usées

Les eaux usées, qu'elles soient d'origine domestique ou industrielle, sont collectées par un réseau d'assainissement complexe pour être traitées dans une station d'épuration avant d'être rejetées dans le milieu naturel. En station, les traitements varient en fonction de la nature de ces eaux usées et de la sensibilité à la pollution du milieu récepteur.

Aujourd'hui, les usines de traitement des eaux usées sont devenues des usines de dépollution, compactes, couvertes, désodorisées, automatisées. Elles mettent en œuvre des traitements de plus en plus performants, capables d'éliminer à la fois la pollution carbonée, l'azote et le phosphore. Ces usines sont dimensionnées pour traiter une certaine charge de pollution et assurer un rejet conforme à l'arrêté préfectoral d'autorisation. [8]

Comment Fonctionne une usine de traitement des eaux usées

De l'entrée de l'usine jusqu'au rejet dans le milieu naturel, les différentes étapes du traitement des eaux usées et les principales tâches effectuées sont schématiquement les suivantes :

Prétraitement**Dégrillage**

A l'arrivée, l'eau usée en provenance des égouts passe entre les barreaux métalliques d'une grille (ou d'un tamis) qui retiennent les déchets volumineux (papiers, feuilles, matières plastiques, objets divers...) et l'effluent est relevé jusqu'au niveau de l'usine à l'aide de vis d'Archimède ou de pompes. [8]

Dessablage

Les sables et graviers susceptibles d'endommager les installations en aval (ensablement de conduites, des bassins, usure des pompes et autres organes métalliques...) se déposent au fond de bassins conçus à cet effet. Ils sont récupérés de différentes façons : raclage vers une fosse de collecte, pompe suceuse. [8]

Dégraissage-déshuilage

L'injection de fines bulles d'air dans un bassin permet de faire remonter les huiles et les graisses en surface où elles sont raclées selon le principe de l'écumage. [8]

Traitement primaire

La décantation « primaire » s'effectue dans des bassins, le plus souvent de forme cyclonique, mais il existe bien d'autres types de décanteurs. Elle permet d'éliminer 70 % environ des matières minérales et organiques en suspension qui se déposent au fond du bassin où elles constituent les boues dites « primaires ». Celles-ci sont récupérées par raclage au fond du bassin et envoyées dans des épaisseurs pour y être traitées.

Les performances de la décantation peuvent être améliorées par l'adjonction de produits chimiques (sulfate d'alumine, chlorure ferrique, agents de coagulation...). Cette technique qu'on appelle « floculation » permet de capter 90 % des matières en suspension. [8]

Traitement biologique

Après décantation, l'effluent est introduit dans des bassins équipés de dispositifs d'aération (turbines, insufflation d'air...) où des microorganismes, naturellement présents dans l'effluent, dégradent les matières organique dissoutes. L'air insufflé leur fournit l'oxygène nécessaire pour respirer et ils se développent en se nourrissant de la pollution organique. Ces microorganismes exercent également un effet physique de rétention de la pollution par leur propension à se rassembler en films ou flocons. [8]

Les techniques de traitement biologique les plus couramment employées sont:

- les boues activées
- les lits bactériens (bactéries fixées)

- les bio filtres (bactéries fixées)«
- des procédés membranaires sont utilisés depuis quel- que années [8]

➤ **Clarification et rejet des effluents**

La clarification permet de séparer par décantation l'eau épurée des boues « secondaires » issues du traitement biologique. Cette décantation se fait dans des ouvrages spéciaux, le plus souvent circulaires, appelés clarificateurs ou décanteurs secondaires.

Une partie des boues « secondaires » est évacuée en aval vers le traitement des boues ; l'autre partie est recyclée vers le bassin d'aération pour maintenir la masse biologique nécessaire au fonctionnement de l'installation.

Dans la plupart des cas, l'effluent peut être rejeté dans le milieu naturel après la clarification. Le rejet se fait par un canal équipé de capteurs de mesure pour l'auto surveillance de la station [8]

Traitements complémentaires

Pour obtenir une épuration plus poussée, notamment lorsque la sensibilité du milieu récepteur l'exige (zone de baignade, vie piscicole, prise d'eau potable en aval de la station...), il peut être nécessaire d'effectuer des traitements complémentaires du type :

- filtration sur lit de sable
- désinfection par le chlore ou d'autres produits oxydants (ozone...)
- élimination de l'azote
- élimination du phosphore [8]

Les locaux des usines de traitement des eaux usées sont ventilés en permanence.

L'air « vicié » est traité avant rejet dans l'atmosphère. Ces usines génèrent des « déchets » : refus (produits retenus lors) du dégrillage, produits de curage, dessablage, déshuilage... et des boues qui doivent subir des traitements spécifiques. [8]

I.1.3.1.5 .Traitement des boues

Le traitement d'un mètre cube d'eaux usées produit de 350 à 400 grammes de boues. Ces boues, généralement très liquides, contiennent une forte proportion de matières organiques. Elles sont donc très fermentescibles et susceptibles de causer des nuisances.

Le traitement a pour but de les conditionner en fonction des filières d'élimination:

- Réduction de leur volume par épaissement« déshydratation« séchage thermique ou incinération

■ Diminution de leur pouvoir de fermentation par stabilisation biologique, chimique ou thermique (rajout de chaux par exemple).

Un traitement chimique des odeurs est souvent associé à ce traitement.

La gestion des boues représente souvent une préoccupation pour les exploitants des usines de traitement et pour les collectivités locales. L'élimination des boues connaît d'importantes évolutions, en particulier au niveau des filières et des débouchés finaux : utilisation agricole, compostage, incinération, récupération d'énergie, envoi en centre d'enfouissement technique [8]

Tâches effectuées

Le personnel qui travaille dans les usines d'épuration accomplit des tâches du type:

- surveillance (rondes), circulation sur des passerelles autour des bassins,
- pilotage des installations à partir de la salle de contrôle (supervision),
- nettoyage, lavage au jet, brossage,
- évacuation de déchets, enlèvement des boues,
- prélèvements d'échantillons,
- contrôle d'appareillages électriques,
- conduite d'appareils mécaniques ou électromécaniques,
- intervention dans des espaces confinés,
- manutention de charges,
- manœuvre de vannes,
- conduite d'engins ou de véhicules,
- graissage, changement de pièces, montage et démontage de pompes, de moteurs,
- modification, réparation d'installations électriques,
- travaux de maçonnerie, de peinture,
- entretien de la voirie, des espaces verts,

Les tâches de maintenance ou d'entretien important sont souvent assurées par des entreprises extérieures [8]

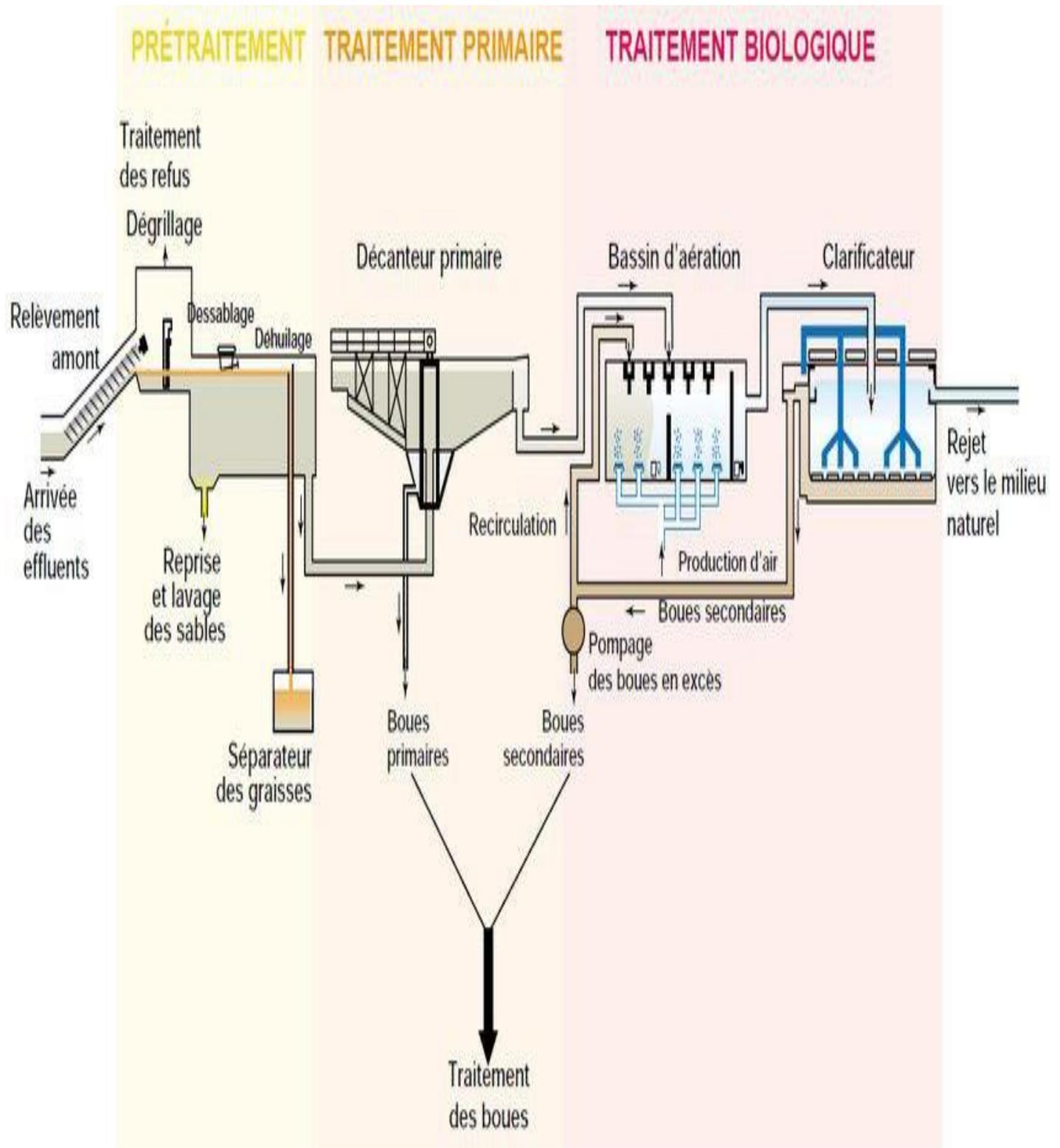


Figure I .1: Installation courante avec traitement par boues activées[8]

I.2.Pollution des eaux

I.2.1.Définition de la pollution

La pollution de l'eau survient lorsque des matières sont déversées dans l'eau qui en dégrade la qualité. La pollution dans l'eau inclut toutes les matières superflues qui ne peuvent être détruites par l'eau naturellement. Autrement dit, n'importe quelles matières ajoutées à l'eau qui est au-delà de sa capacité à le détruire est considérée comme de la pollution. La pollution peut dans certaines circonstances, être causée par la nature elle-même, comme lorsque l'eau coule par des sols qui a un taux élevé d'acidité. Par contre, la plupart du temps ce sont les actions humaines qui polluent l'eau [4]

I.2.2.Types de pollution

1.2.2.1. Pollution biologique

Par définition, une pollution biologique est issue du milieu lui-même. C'est par le surdéveloppement de micro-organismes ou de végétaux micro ou macroscopiques qu'un déséquilibre du milieu environnant peut entraîner une mortalité élevée chez les autres organismes présents. Ce surdéveloppement est généralement la conséquence d'une action humaine. Cela peut se produire suite à des rejets excessifs de composés azotés ou phosphorés [7]

- **Pollution organique**

Ce type de pollution constitue la plus grande proportion. Il résulte de l'introduction de matières organiques dans l'environnement par diverses activités : industrielles (hydrocarbures), agricoles (engrais azotés et phosphatés) et domestiques (phosphates, matières fermentescibles). [6]

La pollution organique de l'eau, provenant des eaux domestiques et de l'industrie agroalimentaire, entraîne une consommation excessive d'oxygène nécessaire à la décomposition de la matière organique, ce qui peut entraîner la mort des organismes aquatiques. Les composés azotés contribuent à la pollution organique après la décomposition de l'urée et des acides aminés. L'ammoniac se forme principalement en milieu anoxique ; la fraction ammoniacale non dissoute (NH_4^+) est toxique pour les poissons. Lors de la réoxygénation de l'eau, l'ammoniac est transformé en nitrate et, à un stade intermédiaire, en nitrite (toxique en soi). Les formes azotées (azote organique, ammoniac, nitrite) sont probablement une source de nitrate hautement soluble par oxydation biologique [6]

- **Pollution microbiologique**

Elle provient de plusieurs sources comme les rejets des hôpitaux; l'agriculture ainsi que les rejets d'eaux usées. L'eau se charge alors de microorganismes pathogènes (bactéries, virus, parasites) qui peuvent être dangereux pour l'environnement et pour la santé humaine [4]

1.2.2.2. Pollution chimique

Pollution chimique Ce type de pollution des eaux de surface résulte le plus souvent de l'introduction dans le milieu de substances à effet toxique, de critères multiples et d'origines diverses (pesticides, détergents, métaux lourds). La pollution chimique des eaux peut être chronique, accidentelle ou diffuse. Elle peut être due à l'insuffisance de certaines stations d'épuration, l'absence de réseaux d'assainissement dans certaines zones, le lessivage des sols, mais aussi des chaussées et des toits par les pluies et par le rejet d'effluents par les industries. Cette forme de pollution issue de substances chimiques telles que les insecticides ou les herbicides provoque la destruction de la qualité des eaux de surface (cours d'eau, lacs) et celle des eaux souterraines [6]

1.2.2.3. Pollution physique

La pollution physique La pollution physique est liée aux facteurs influents sur l'état physique de l'eau tels que la température, le pH, la conductivité (Ce) le solide totale dissous (TDS), la présence des particules ou mousses et le changement de l'effet réfractaire de l'eau. [5]

I.2.3. Paramètres de pollution de l'eau

I.2.3.1. Paramètres physiques

- **Couleur**

La couleur de l'eau provient de matière organique, des métaux lourds comme le fer et manganèse ainsi que les résidus industriels fortement colorés. Il est important de la mesurer, étant donnée qu'une couleur élevée est esthétiquement indésirable. [13]

- **Matières en suspension MES**

Elles représentent, la fraction constituée par l'ensemble des particules, organiques (MVS) ou minérales (MMS), non dissoutes de la pollution. Elles constituent un paramètre important qui marque bien le degré de pollution d'un effluent urbain ou même industriel [10]

- **Température**

La température est un facteur écologique vital des milieux aqueux. Son élévation peut perturber fortement le milieu aquatique (pollution thermique). Elle joue un rôle important dans la nitrification et la dénitrification biologique. [11]

- **Turbidité**

La turbidité d'une eau est déterminée par sa teneur en matières en suspension : (grains de silice, matières organiques, limons). Lorsque cette teneur est élevée l'eau se trouble est forme d'importants dépôts dans les tuyauteries et les réservoirs. [9]

- **Conductivité**

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau [10]

- **pH**

Le pH est une mesure de l'acidité de l'eau c'est -à-dire de la concentration en ions d'hydrogène (H⁺). L'échelle des pH s'étend en pratique de 0 (très acide) à 14 (très alcalin) ; la valeur médiane 7 correspond à une solution neutre à 25°C. [9]

I.2.3.2. Paramètres chimiques

- **Oxygène dissous**

La présence de l'oxygène dans l'eau est indispensable pour la respiration des êtres vivants aérobies aquatiques. En dessous d'un seuil absolu, soit 6 mg/l, l. L'oxygène de l'eau permet l'oxydation des matières organiques (autoépuration), mais cette décomposition appauvrit le milieu aquatique en oxygène. [11]

- **DBO₅**

La DBO₅ mesure la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique par voie biologique (bactéries), cette analyse s'effectue à une température de 20°C pendant 5 jours à l'obscurité. Elle est exprimée en mg d'O₂/L. [12]

- **Demande chimique en oxygène (DCO)**

Ce paramètre permet de quantifier la matière oxydable contenue dans l'eau par la mesure du Taux d'oxygène nécessaire pour la dégrader. La DCO est exprimée en mg d'O₂/l. [12]

- **Les nitrates**

Les ions nitrates sont les plus stables en solution aqueuse. Dans le cycle de l'azote ils sont considérés Comme la forme principale. Les nitrates proviennent de l'oxydation des nitrites sous l'action des bactéries du type nitrobacter. L'intérêt des nitrates réside dans leur rôle d'indicateur de pollution et surtout leur rôle de fertilisant, puisque c'est essentiellement sous cette forme que les plantes assimilent l'azote. La concentration des nitrates dans l'océan varie d'une valeur faible ou nulle n'en surface à une teneur de 30 à 40 µmol/l dans les eaux profondes océaniques. [14]

- **Les nitrites**

Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiant. Les nitrites sont répandus dans le sol, dans les eaux et dans les plantes, mais en quantité relativement faibles. Les nitrites non liées à une pollution, se retrouvent parfois dans les eaux pauvres en oxygène. Leur présence a également été signalée dans les eaux de pluie et dans celles provenant de la fonte des neiges. En effet la pollution atmosphérique favorise l'augmentation de la teneur en nitrites. Toutefois, une eau qui renferme des nitrites est à considérer comme suspecte car cette présence est souvent liée à une détérioration de qualité microbiologique [15]

- **l'ammonium**

L'azote ammoniacal provient des excréctions animales et de la décomposition bactérienne des composés organiques azotés. Il est utilisé par le phytoplancton comme source et oxydé par les bactéries nitrifiantes. Chapitre III 25 Dans les eaux marines, l'azote ammoniacal se trouve à des concentrations assez faibles, forme transitoire qui s'oxyde en milieu oxygéné en nitrite puis en nitrate. Lorsqu'on se rapproche des émissaires urbains, les concentrations peuvent atteindre plusieurs centaines de micromoles par litre. L'ammonium devient dans ces conditions un bon traceur de pollution urbaine.

L'équation chimique qui détermine la relation entre l'ammoniac et l'ammonium est la

Suivante : $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$

L'ammonium devient dans ces conditions un bon traceur de pollution urbaine [14]

I. 3. L'azote

Bien que l'azote constitue 78 % de l'atmosphère, il constitue un élément limitant la croissance animale et végétale dans de nombreux écosystèmes. L'azote inerte (N_2) est abondant sur Terre, mais peu de composés azotés réactifs, tels que le nitrate (NO_3^-), l'ammonium (NH_4^+) et l'ammoniac (NH_3), sont les principales formes absorbées par les plantes, à l'exception de certaines espèces végétales, comme les légumineuses, qui fixent l'azote atmosphérique par symbiose avec des bactéries. L'azote est omniprésent sur la planète, mais seuls quelques organismes y ont naturellement accès, ce qui limite son accès complet à cette ressource tout au long de son cycle de vie. [26]

I.3.1.Sources de pollution par l'azote

Les sources de composés azotés dans l'eau peuvent être d'origine humaine, industrielle ou agricole. Les sources naturelles peuvent être les précipitations atmosphériques, la poussière, les lixiviats non urbains et non agricoles et la fixation biologique. Les composés azotés d'origine humaine peuvent être, par exemple, les eaux usées traitées et non traitées, les lixiviats agricoles (par exemple, en cas d'ajout excessif d'engrais), certaines eaux usées industrielles et les eaux de ruissellement. Les eaux usées contiennent toujours des composés azotés, généralement à des concentrations comprises entre 25 et 50 mg N/L. [17]

I.3.2.L'azote dans le sol

Dans le sol, ces formes d'azote minéral et organique sont transformées selon différents processus qui dépendent des conditions telles que l'humidité ou la température. Ces transformations sont continuées et l'azote évolue en permanence entre ses différentes formes organiques et minérales. . [18]

I.3.3. Cycle de l'azote

Le cycle de l'azote représente les échanges entre les réservoirs d'azote minéral et d'azote organique. [27]

- **Azote minéral**

Il s'agit de l'azote contenu dans l'atmosphère (N_2 représentant 78 % des gaz présents dans l'atmosphère) et de l'azote présent dans les sols, les cours d'eau et les océans (diazote mais aussi formes ionisées de l'azote tel que les ions ammonium, nitrite et nitrate). [27]

- **Azote organique**

Il s'agit de l'azote présent dans la matière organique vivante (biomasse) ou morte (nécromasse), il est associé au carbone réduit. Dans la biomasse, il représente 0,1 à 2,5 % de la matière sèche végétale et 5 % de la matière sèche animale. L'azote est un composé indispensable à la vie, cependant seul un très faible nombre d'espèces est capable d'utiliser directement l'azote présent dans l'atmosphère en rompant la triple liaison du dia [27]

I.3.4.Nitrification

La nitrification est l'oxydation biologique de l'ammoniac (NH_4^+) en nitrite (NO_2^-) puis en nitrate (NO_3^-). Les deux principales espèces de micro-organismes responsables de l'oxydation biologique des composés azotés sont les bactéries autotrophes Nitrosomonas et Nitrobacter. Nitrosomonas oxyde l'ammoniac en nitrite. Nitrobacter complète le processus de nitrification en oxydant le nitrite en nitrate.

La nitrification globale de l'ammoniac peut être exprimée par la réaction suivante:



Ces deux processus sont extrêmement pauvres en énergie, ce qui entraîne des taux de croissance très lents pour les deux types d'organismes. [19]

I.4.Les mécanismes contribuant au traitement de l'azote

L'azote peut être séparé des eaux par différents mécanismes : physique (par décantation lorsqu'il est lié aux matières en suspension), physico-chimique (stripping sous forme de gaz ammoniac lorsque le pH est basique, oxydations et réductions chimiques) et biologique (incorporation aux bactéries produites, transformation en nitrates puis en azote gazeux lors des processus de nitrification-dénitrification). [16]

À l'heure actuelle les voies physico-chimiques d'élimination de l'azote des eaux résiduaires urbaines n'ont pas donné lieu, pour des raisons économiques, à des applications industrielles

du fait de la nature essentiellement soluble de l'azote de ces eaux et de leur faible concentration.

Dans les stations d'épuration biologique, les rendements liés aux mécanismes physico-chimiques sont très faibles compte-tenu de la composition des eaux résiduaires urbaines et des conditions du milieu. L'essentiel du traitement est lié à des processus physiques (décantation, séquestration) et surtout biologiques (assimilation, nitrification, dénitrification) [16]

I.4.1. décantation

De nombreuses filières d'épuration comportent une décantation primaire. L'extraction des boues qui s'y accumulent permet naturellement de séparer la fraction de l'azote liée aux matières en suspension des eaux brutes retenues par l'ouvrage. En fonction de la longueur et de la pente du réseau, l'élimination d'azote par décantation primaire est comprise entre 5 et 10 % de l'azote total reçu par temps sec, et plus en temps de pluie, en réseau unitaire, lorsque s'effectue un auto-curage du réseau. [16]

Lorsque les boues primaires séjournent longuement au contact de l'eau, la libération progressive d'azote ammoniacal produit par la lyse des bactéries réduit le rendement de la décantation des influents bruts : c'est le cas pour les procédés extensifs d'épuration tels le lagunage naturel et le lagunage aéré ou encore pour les filières précédées par une fosse septique ou un décanteur-digesteur, de façon moindre d'ailleurs, pour lesquels on doit considérer que la part de l'élimination d'azote par la décantation primaire qui s'y effectue est négligeable [16]

I.4.2. Ammonification

L'azote organique des eaux urbaines est principalement formé d'urée et d'acides aminés. Sous l'action des bactéries et par hydrolyse notamment, l'ammonification se réalise que le milieu soit oxydant (station d'épuration) ou non (collecteur) selon la réaction suivante :



La vitesse de réaction est suffisamment rapide pour qu'un séjour de quelques heures en réseau réduise de moitié les concentrations d'azote organique. Dans la station d'épuration, l'ammonification de la fraction dissoute de l'azote organique et la séquestration dans le floc de sa fraction particulaire complètent l'abattement d'azote organique. Les concentrations d'azote organique résiduelles en solution dans les eaux épurées sont très basses, de l'ordre de 1 à 2 mg/l au maximum lorsque la charge appliquée au réacteur biologique est faible. L'azote organique résiduel comprend l'azote inclus dans les matières en suspension (MES) entraînées, les « fines » rejetées avec l'eau épurée, et l'azote organique soluble non ammonifié ou azote organique soluble « réfractaire » ou encore soluble « dur ». Cette dernière fraction ne s'ammonifiera pas ou s'ammonifiera extrêmement lentement dans le milieu naturel. [16]

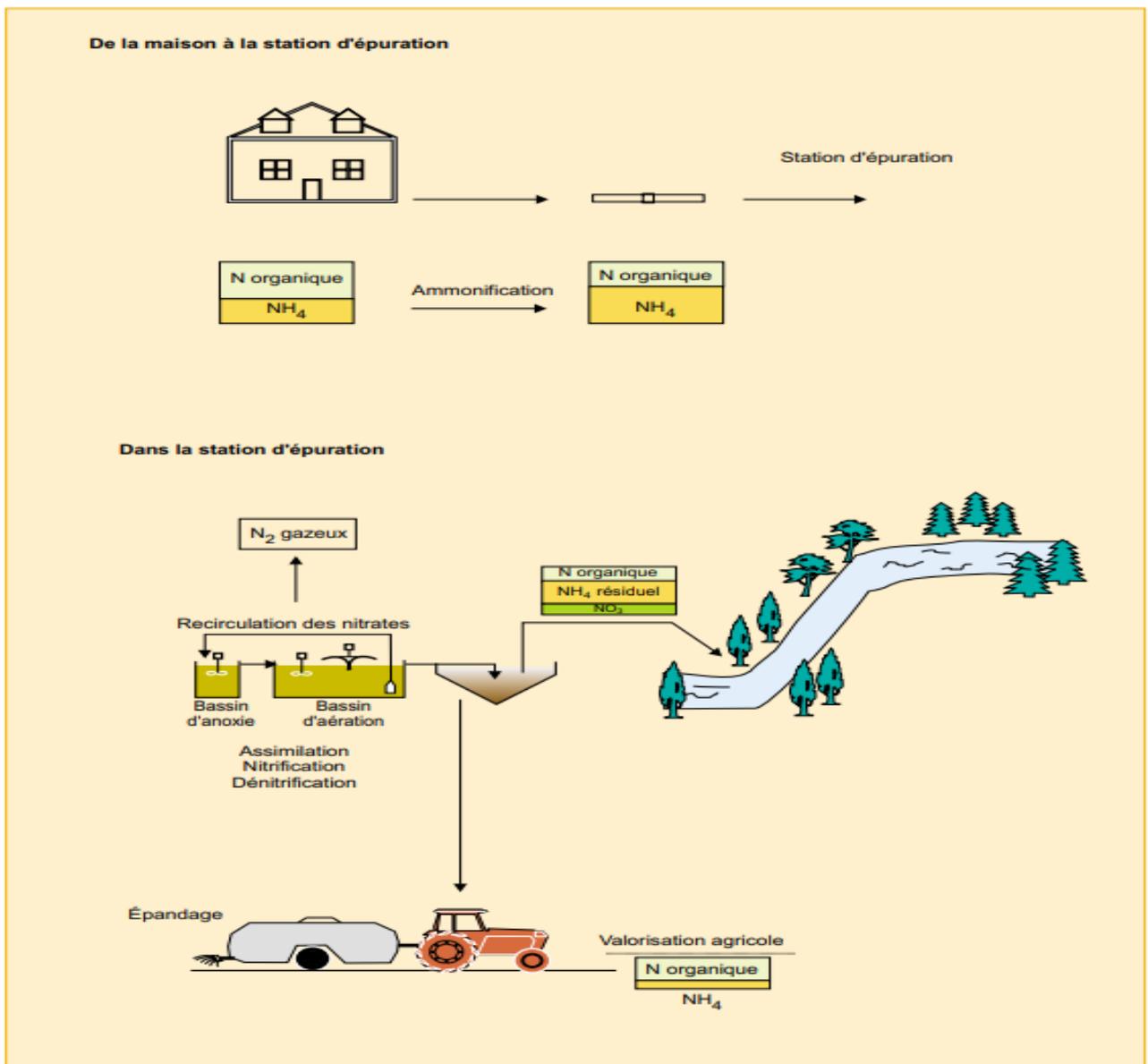
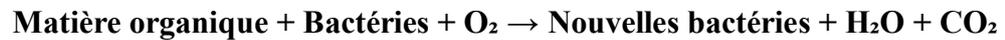


Figure I.2. Mécanismes d'élimination de l'azote en station d'épuration

I.4.3. Assimilation

La réaction d'assimilation de la matière organique par les bactéries hétérotrophes en présence d'oxygène dissous peut être représentée par la réaction suivante : [16]



Ces bactéries (et protozoaires) assurant le traitement de la charge polluante organique ont besoin pour leur métabolisme de nombreux éléments chimiques. L'azote vient au premier rang de ces éléments puisqu'il est un composant important de la cellule bactérienne représentant environ 5 % de sa matière sèche. Les besoins en azote sont de l'ordre de 5 % de la DBO5 éliminée par la culture bactérienne.

Compte-tenu de l'apport supplémentaire de matières minérales et de la séquestration d'azote organique particulaire, les boues extraites des systèmes d'épuration biologique présentent une teneur en azote de l'ordre de 7 % des matières en suspension (MES) en moyenne [16]

L'assimilation, au sens large (incluant notamment la séquestration de l'azote organique particulaire réfractaire), conduit à une élimination de l'ordre de 25 % de l'azote des eaux brutes urbaines.

I.4.4. Nitrification biologique

La réaction de nitrification de l'azote ammoniacal par les bactéries autotrophes nitrifiantes en présence d'oxygène dissous peut être représentée par la réaction suivante :

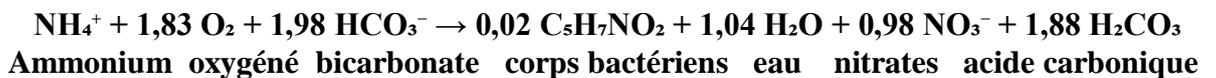


En réalité, cette réaction s'effectue en deux étapes successives : la nitrification et la nitrification, réalisées par des bactéries différentes selon les schémas ci-après :



Ces schémas sont simplificateurs dans la mesure où de nombreux stades intermédiaires interviennent, les bactéries réalisant l'oxydation en plusieurs étapes. Les formes de l'azote indiquées ici sont en pratique les seules présentes à des concentrations significatives dans les eaux usées. [16]

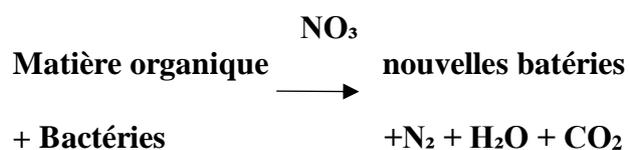
La nitratisation est réalisée par des bactéries nitreuses. Jusqu'ici, Nitrosomonas, en particulier, mais également Nitrosococcus et Nitrospira étaient considérées comme jouant un rôle prépondérant dans ce processus. La nitratisation est le fait des bactéries nitriques du genre Nitrobacter. Ces bactéries, dites autotrophes vis-à-vis du carbone, utilisent le carbone minéral comme seule source de carbone (essentiellement celui des bicarbonates), les formes réduites de l'azote comme source d'énergie. Globalement, la nitrification biologique peut être décrite par la réaction suivante : [16]



- Il ressort de ce bilan que la nitrification biologique d'1 kg d'azote ammoniacal.
- nécessite théoriquement 4,2 kg d'oxygène dont 80 % sont inclus dans les nitrates formés.
- s'accompagne d'une diminution de l'alcalinité (compensable par 3,9 kg de chaux vive CaO).
- produit 170 g de bactéries nitrifiantes ce qui est très faible vis-à-vis de la production de boues générées lors de la dégradation de la charge organique carbonée. [16]

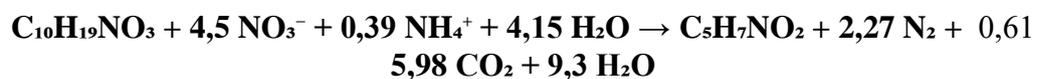
I.4.5. Dénitrification biologique

La réaction d'assimilation de matière organique par les bactéries hétérotrophes en l'absence d'oxygène dissous et de présence de nitrates peut être représentée par la réaction suivante :



Cette réaction est dite « de dénitrification » car elle se traduit par la réduction des nitrates en azote moléculaire (N₂), gaz qui retourne à l'atmosphère. Cette transformation est également appelée réduction dissimilative. La dénitrification est le mécanisme qui permet à un grand nombre de bactéries hétérotrophes – vis-à-vis du carbone – aérobies facultatifs de couvrir leurs besoins énergétiques à partir des nitrates lorsque l'oxygène dissous fait défaut. Ces germes qui ont besoin de carbone organique utilisent préférentiellement l'azote ammoniacal pour couvrir leurs besoins d'azote. De nombreuses bactéries (environ 50 % des espèces présentes en station d'épuration) seraient susceptibles d'effectuer cette « respiration des nitrates ». [16]

La dénitrification biologique peut être décrite par cette autre réaction :



Cette réaction de dégradation de la matière organique, toutes autres conditions égales par ailleurs, est plus lente que celle qui se produirait en présence d'oxygène. Elle est d'autant plus lente que le carbone disponible est moins rapidement biodégradable (étape d'hydrolyse préalable du carbone exogène requise ou production du carbone endogène par lyse des bactéries). [16]

La dénitrification d'un gramme d'azote nitrique assure une dégradation de substrat carboné équivalente à celle obtenue avec 2,85 g d'oxygène,

-La dénitrification assure une restitution d'alcalinité égale à la moitié de la consommation nécessaire à la nitrification : 1 kg d'azote nitrique dénitrifié est de ce point de vue équivalent à l'addition de 1,95 kg de chaux vive CaO. [16]

I.5.Sable de dune

I.5.1.Définition

Les sables présents dans les dunes mobiles se caractérisent par des particules siliceuses de taille pratiquement uniforme et de dimensions réduites. Ces types de sables sont répandus dans diverses régions désertiques, formant des dunes mobiles de hauteurs variables qui occupent d'importants espaces, notamment dans le sud algérien. Le processus de triage granulaire, de déplacement, et d'accumulation de ces sables est largement influencé par la vitesse et l'intensité des vents. La composition minéralogique du sable englobe divers minéraux tels que la silice, les silicates, les carbonates, et les argiles, avec une prédominance

des silicates qui constituent la famille minérale la plus abondante dans la nature, représentant environ 90 % de la masse de l'écorce terrestre. Les sables des dunes se caractérisent principalement par leur pureté en silice, la présence de carbonates et d'argiles étant à l'état de traces. [20]

I.5.1.1. Qu'est-ce qu'une dune ?

Une dune est un relief ou un modelé composé de sable. Une dune présente un profil transversal dissymétrique avec une pente douce du côté du vent et une pente plus raide du côté terre. La dune bordière délimite le haut de la plage par un bourrelet sableux d'un à quelques mètres de haut. Sa base correspond à la haute mer et peut être endommagée lors des tempêtes. En arrière de ce premier cordon, on peut voir se développer un champ de dunes montrant des formes différentes : dunes alignées, dunes paraboliques, dunes en râteau... plus ou moins fixées par la végétation. [30]

I.5.2. Composition chimique

Ce sont des sables dont la composition chimique est très simple : plus de 95 % de silice, de 1 à 2 % de calcaire et des traces de différents oxydes. Du fait de cette constitution, le sable a une couleur blanche légèrement jaune et ocre, il se des sèche et perd facilement sa cohésion en surface. [31]

I.5.3. Utilisation du sable de dune

L'utilisation des sables en techniques routières n'est pas nouvelle. Beaucoup d'études et de réa-lisations ont été faites et un guide pratique d'uti-lisation routière des sables a été publié. Cependant, les sables de dunes consti-tuent un cas particulier pour lequel les directives et recommandations ne peuvent pas être appli-quées sans études spécifiques. L'utilisation du sable de dune seul ne peut être envisagée malgré la facilité qu'il présente au reprofilage, car sa stabilité de surface est souvent incertaine, ce qui augmente la résistance au roulement et provoque parfois des enlissements Mais il pourrait être mélangé avec d'autres matériaux. [31]

I.6. Filtration

est un procédé physique destiné à clarifier un liquide qui contient des matières solides en suspension en le faisant passer à travers un milieu poreux. Si ces matières à retenir sont de dimensions supérieures à celle des pores de filtre, elles sont retenues à la surface et la filtration est dite en surface, ou en gâteau ou en encore sur support.« [34]

Dans le cas contraire, les matières en suspension sont retenues à l'intérieur de la masse poreuse, et la filtration est dite en volume ou en profondeur ou encore « sur lit filtrant. Les solides en suspensions ainsi retenus par le milieu poreux s'y accumulent; il faut donc nettoyer

ce milieu de façon continue ou de façon intermittente. La filtration, habituellement précédée des traitements de décantation, permet d'obtenir une bonne élimination des bactéries, de la couleur, de la turbidité et, indirectement, de certains goûts et odeurs .

En fonction des performances qu'ils peuvent réaliser on peut distinguer différents [34]

I.6.1. La filtration lente sur sable

est intéressante car, en une seule opération, la quasi-totalité de la turbidité est éliminée de l'eau, ainsi qu'une grande partie de la matière organique présente à l'origine et une quantité significative de la couleur. Plus important encore, dans de nombreuses situations, les filtres à sable lents ont la capacité d'éliminer une très grande proportion de bactéries coliformes et peut-être même pratiquement toutes les bactéries pathogènes et tous les virus de l'eau brute. [20]

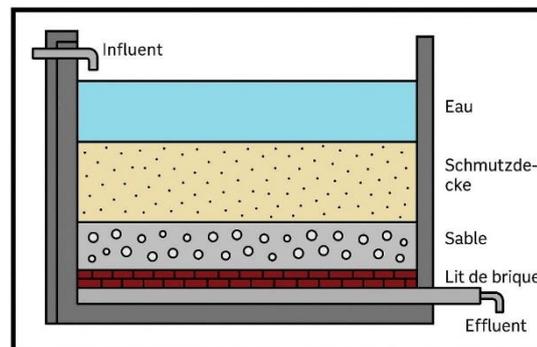


Figure I.3 : Filtres à sable lents [33]

1.6.2. La filtration rapide sur sable

Elle s'applique à des eaux préalablement traitées (eau flocculée et décantée ou flottée) et aura pour but d'obtenir une clarification de l'eau par l'élimination des MES, au fur et à mesure des passages de l'eau à travers le lit filtrant. La filtration rapide a pour «inconconvénient» qu'elle est une opération relativement complexe, nécessitant du personnel qualifié.

D'autre part, la surface nécessaire à l'installation d'un filtre rapide est très réduite et les débits d'eau filtrée très élevés. [21]

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons découvert les eaux usées et leurs sources, ainsi que les polluants qu'elles contiennent, et nous avons expliqué comment ces eaux polluées peuvent affecter l'environnement. Nous avons également abordé les normes de pollution physique et chimique. Ce chapitre nous aide à comprendre l'importance du traitement des eaux usées et ouvre la voie aux chapitres suivants de la recherche. [11]

Chapitre II

Matériels et méthodes

II.1 Introduction

Dans ce chapitre, l'accent a été mis sur la découverte de la cause de l'augmentation de la concentration en nitrates et de la diminution des concentrations en ammonium et en nitrites, un phénomène constaté dans l'étude précédente (Evaluation de taux de dépollution des eaux usées à l'aide d'un système de filtration à sable). Pour ce faire, un certain nombre de procédures ont été mises en œuvre: [32]

Extraction du sable d'oude metlili .Analyse de l'extrait de sable.et analyse des eaux usées traitées avant et On sait que l'ammonium (NH_4^+) est facilement oxydé par les bactéries en nitrite (NO_2^-) puis en nitrate (NO_3^-), à condition qu'il y ait suffisamment d'oxygène.

Ce processus se déroule en deux étapes successives:

1. La première nitrification : Conversion de l'ammonium en nitrite.
2. Deuxième nitrification : transformation du nitrite en nitrate.

La réduction dans le sens inverse déstabilise l'état des nitrites, soit en augmentant, soit en diminuant leur concentration



II.2 Analyse de sable

II.2 .1.Caractérisation du matériau filtrant

II.2.1.1.Choisir le meilleur sable pour filtrer les eaux usées

Dans l'étude précédente, le sable apporté de la vallée de Metlili a été choisi car il est considéré comme le meilleur en termes d'efficacité technique par rapport à la plupart des polluants étudiés. [32]



Figure II.1 : Sable d'oude metlili

II.3 Lieux de Prélèvement des eaux usées

Le prélèvement de échantillons des eaux usées ont été effectués sont le rejetées de La STEP KAF Doukhane, Le prélèvement est effectué dans des bouteilles de 5 litres de Eau minérale. Ensuite les échantillons sont conservés dans un réfrigérateur jusqu'à utilisation. [32]



Figure II.2: Eaux usée utilisée [32]

II.4. première étape : Extraction de sable

II.4. 1 .Échantillons solides autres que les fumiers

- Homogénéiser l'échantillon non séché avec une spatule afin d'avoir un échantillon Représentatif.
- Peser précisément environ 5 g (équivalent poids sec) de l'échantillon humide.
- Transférer dans un contenant de plastique et ajouter 50 ml de la solution de KCl 2,0 N (cf. 6.13).
- Agiter à environ 280 oscillations par minute pendant 1 heure à l'aide d'un agitateur Mécanique
- Filtrer et acidifier le filtrat à $\text{pH} < 2$ par ajout de H_2SO_4 9 N.
- Diluer les solutions obtenues par un facteur d'au moins 5 avant le dosage [28]



Mélange de sable



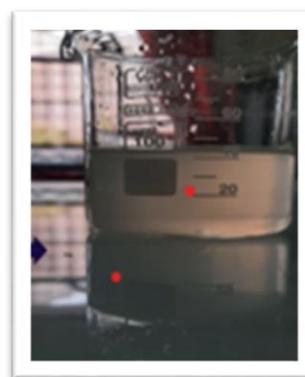
Agitation



Filtration



Ajustement du pH



l'extrait de sable

II.4.1.1. Dosage de nitrate

- **Principe**

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosalicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique.

- **Echantillonnage**

Les échantillons sont prélevés dans des bouteilles en verre et doivent être analysés dès que possible après leur prélèvement. Ils sont conservés entre 1 et 5 °C

- **Méthode de travail**

Réactifs et matériel :

Réactifs :

a) **Solution de Salicylate de Sodium à 0.5%**

Dissoudre 0.5 g de salicylate de sodium dans de l'eau et compléter à 100 ml avec de l'eau distillée. Conserver dans une bouteille en verre ou en polyéthylène. Préparer cette solution chaque jour au moment de l'emploi.

b) Solution d'hydroxyde de Sodium à 30%

Dissoudre 30 g d'hydroxyde de sodium dans de l'eau et compléter à 100 ml avec de l'eau distillée

c) Solution de tartrate double de sodium et de potassium

Dissoudre 400 g d'hydroxyde de sodium dans une fiole de 1 l, ajouter 60 g de tartrate double de sodium et potassium, laissé refroidir et compléter avec de l'eau distillée.

Conserver dans un flacon en polyéthylène.

d) Acide sulfurique (H₂SO₄) concentré

e) Solution mère de nitrate à 1 g/l

Dissoudre 1.37 g de nitrate de sodium dans de l'eau et compléter à 1 l avec l'eau distillée
Traitement des échantillons

f) Solution fille étalon de nitrate 10 mg/l :

Diluer 10 ml de la solution mère à 1 g /l et compléter à 1 l avec de l'eau distillée.

Matériel :

Balance analytique de laboratoire précision 0.1 µg

Capsules de 100 ml

Pipettes 10ml, 5ml, 2ml, 1ml

Poires à pipeter:

Etuve pour séchage:

Spectrophotomètre UV-Visible.

Partie expérimentale :

- Etablissement de la courbe d'étalonnage

Dans une série de capsules de 100 ml introduire successivement

Tableau II.1 : Courbe d'étalonnage de NO₃⁻

N° des capsules	T	1	2	3	4	5	6
Solution fille de NO ₃ ⁻ à 10mg/l (ml)	0	1	2	4	6	8	10
Eau distillée (ml)	10	9	8	6	4	2	0
Correspondance en mg/l de nitrates	0	1	2	4	6	8	10

Na OH 0 30%	3gouttes						
Solution de Salicylate de Na (ml)	1	1	1	1	1	1	1
Evaporation à sec à 80c°							
H ₂ SO concentré (ml)	2	2	2	2	2	2	2
Laisser reposer 10 min							
Eau distillée (ml)	15	15	15	15	15	15	15
Tartrate double de Na et K (ml)	15	15	15	15	15	15	15

Effectuer les lectures au spectromètre à la longueur d'onde de 415 nm, construire la courbe d'étalonnage.

Dosage

Introduire 10ml d'eau à analyser

Ajouter 3 gouttes de la solution d'hydroxyde de Sodium à 30%

Ajouter 1 ml de solution de Salicylate de sodium à 0.5%

Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve 75-88°C

Prendre le résidu avec 2 ml d'acide sulfurique concentré

Laisser reposer 10 minutes

Ajouter 15 ml d'eau distillée

Ajouter 15 ml de tartrate double de sodium et de "potassium

Faire la lecture au spectromètre UV-Visible à la longueur d'onde de 415nm. [24]



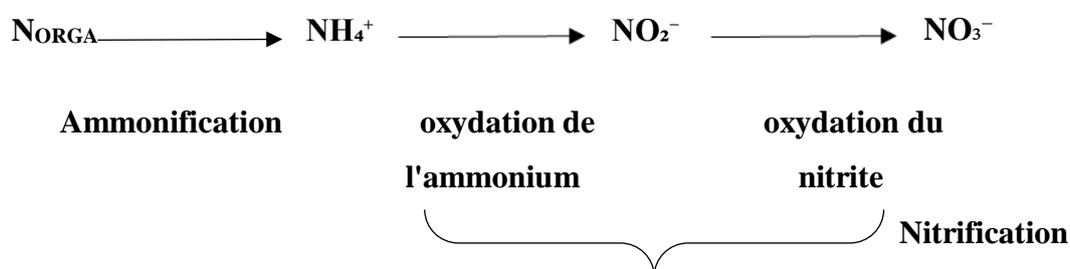
Figure II.3 : Solution étalonnage de NO₃⁻

II.4.1.2. Dosage des ions nitrites

- **Principe**

Réaction des ions nitrites présents dans une prise d'essai, à pH 1,9 avec le réactif amino-4 benzène sulfonamide en présence d'aide ortho phosphorique pour former un sel diazoïque qui forme un complexe de coloration rose avec le dichlor-hydrate de N-(naphtyl-1)diamino-1,2 éthane (ajouter avec le réactif amino-4 benzène sulfonamide) mesurage de l'absorbance à 540 nm.

La minéralisation de la matière organique présente dans le sol est réalisée par des microorganismes. L'azote minéral ainsi produit est ensuite transformée par des bactéries aérobies en nitrates. Cette transformation, appelée nitrification, comporte deux étapes : la nitrification qui produit des nitrites (NO_2^-) et la nitrification qui transforme les nitrites en nitrates. Si les conditions de milieu le permettent, les nitrates seront utilisés par des bactéries anaérobies comme source d'énergie et transformés en azote gazeux. Notons que les nitrates peuvent également s'adsorber et se fixer sur les argiles et humus. Les nitrites sont les sels de l'acide nitreux. L'acide nitreux est un acide instable de formule HNO_2 , la formule de l'ion nitrite est NO_2^- .



- **Echantillonnage**

Prélever les échantillons pour laboratoire dans des flacons en verre, conserver entre 2 et 5 °C et analyser dans les 24 h.

- **Méthode de travail**

Réactif

a) Réactif mixte

Dissoudre 4 gr d' amino-4 benzène sulfonamide ($\text{NH}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{NH}_2$) dans un mélange formé de 10ml d'acide ortho phosphorique et de 50ml d'eau.

Ajouter 0.2 gr de dichlorhydrate de N-(naphtyl-1) diamino-1,2 éthane

($\text{C}_{10}\text{H}_7\text{NH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}_2-2\text{HCl}$), compléter le volume à 100 ml avec de l'eau distillée.

Cette solution est stable pendant un mois si elle est conservée entre 2 et 5°C.

b) Solution étalon mère de nitrites 100 mg/l

Dissoudre 0,15 g de nitrite de sodium (séché à 105°C durant au moins 2 h) dans 11 d'eau distillée. Cette solution est stable pendant un mois si elle est conservée entre 2 et 5°C.

c) Solution étalon fille de nitrites 1 mg/l

Prélever à l'aide d'une pipette 1 ml de la solution étalon de nitrites de concentration 100 mg/l, la transvaser dans une fiole de 100 ml et compléter au volume avec de l'eau distillée.

Cette solution est préparée le jour de l'emploi.

- **Matériel**

-Matériel courant de laboratoire : verrerie (fioles et pipettes...)

-Spectrophotomètre UV -Visible permettant des mesurages à une longueur d'onde de 540 nm, équipé de cuves de 10 mm d'épaisseurs.

- **Partie expérimentale**

Calibration

Dans une série de fioles jaugées de 50 ml, introduire à l'aide d'une pipette, les volumes de la solution étalon fille de nitrites 1 mg/l, indiqués dans le tableau ci-dessous, ajouter de l'eau distillée au contenu de chaque fiole, ajouter ensuite 1 ml du réactif mixte et attendre au moins 20 min. L'apparition de la coloration rose indique la présence des NO_2^- . Enfin, mesurer l'absorbance de chaque étalon à la longueur d'onde (environ 540 nm).

Tableau II.2 : Courbe d'étalonnage de NO_2^-

filles 1 mg/l	0	1	2	5	20	40
Eau distillée (ml)	50	49	48	45	30	10
Réactif Mixte (ml)	1	1	1	1	1	1
Attendre au moins 60 min						
$[\text{NO}_2^-]$ en mg/l	0	0.02	0.04	0.1	0.4	0.8



Figure II. 4 : Solution étalon de nitrite

Dosage

Introduire 50 ml d'échantillon, ajouter 1 ml du réactif mixte et attendre au moins 20 min. L'apparition de la coloration rose indique la présence des NO_2 . Enfin, mesurer l'absorbance de chaque étalon à la longueur d'onde (environ 540 nm). Effectuer parallèlement au dosage, un essai à blanc en suivant le même mode opératoire en utilisant les mêmes quantités des réactifs mais en employant le même volume approprié d'eau distillée à la place de la prise d'essai.

- **Expression des résultats**

Le résultat est donné directement en mg/l à une longueur d'onde de 540 nm.

II.4.1.3. Dosage de l'ammonium

- **Principe**

Mesurage spectrométrique du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitroprussiate de sodium. Les ions hypochlorite sont générés in situ par hydrolyse alcaline du sel de sodium du dichloroisocyanurate de sodium.

- **Echantillonnage**

Prélever les échantillons dans des flacons en verre ou en polyéthylène, conserver entre 1 et 5 °C et analyser dans les 24 h.

- **Méthode de travail**

Réactifs et matériel

Réactif**a) Réactif coloré**

Dissoudre 13 g de salicylate de sodium et 13 g de citrate trisodique di hydrate dans l'eau contenue dans une fiole de 100 ml, ajouter 0,97 g de nitroprussiate de sodium et compléter à 100ml avec de l'eau distillée.

Cette solution est conservée dans un flacon en verre brun et est stable au moins deux semaines.

b) Solution de Dichloroisocyanurate de sodium :

Dissoudre 3.2 g d'hydroxyde de sodium dans 50ml d'eau et laisser refroidir à température ambiante, ajouter 0.2 g de Dichloroisocyanurate di-hydraté, compléter à 100 ml avec de l'eau distillée.

Cette solution est conservée dans un flacon en verre brun et est stable au moins deux semaines.

c) Solution mère étalon d'ammonium 100 mg/l :

Dissoudre 0,297g de chlorure d'ammonium (séché à 105 C° pendant au moins 2h) dans 11 d'eau distillée.

Cette solution est conservée dans un flacon en verre et est stable au moins un mois.

d) Solution fille étalon d'ammonium 1 mg/l

Prélever à l'aide une pipette 1ml de la solution étalon d'ammonium de 100mg/l. Verser dans une fiole de 100 ml et compléter au volume avec de l'eau distillée.

Préparer cette solution le jour de l'emploi. La durée de conservation ne dépasse pas 24h.

e) Solution de lavage

Dissoudre 100 g d'hydroxyde de potassium dans 100 ml d'eau distillée.

Refroidir la solution et ajouter 900 ml d'éthanol 95%.

Conserver dans un récipient en polyéthylène.

- **Matériels**

- Matériel courant de laboratoire : verrerie (fioles et pipettes).
- Spectrophotomètre UV-VIS.

Partie expérimentale

Dans une série de fioles jaugées de 50 ml, introduire à l'aide d'une pipette, les volumes de la solution étalon fille d'ammonium 1 mg/l, indiqués dans le tableau ci-dessous, ajouter de l'eau distillée au contenu de chaque fiole, prélever 40 ml de chacune des solutions, ajouter ensuite 4 ml du réactif coloré et 4 ml du de dichloroisocyanurate de sodium et homogénéiser. Après au

moins 60 min, attendre le développement de la couleur. Effectuer les mesures spectrophotométriques à la longueur d'onde de 655nm.

Tableau II.3 : Courbe d'étalonnage de NH₄⁺

filles 1 mg/l	0	1	2	3	4	5	25	50
Eau distillée (ml)	50	49	48	47	46	45	25	0
Réactif coloré (ml)	4	4	4	4	4	4	4	4
Réactif de dichloroisocyanurate (ml)	4	4	4	4	4	4	4	4
Attendre au moins 60 min								
[NH ₄ ⁺] en mg/l	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1	0.5	1

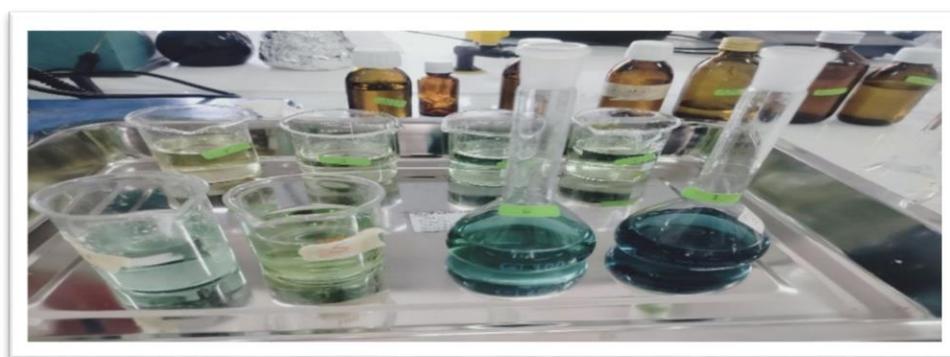


Figure II.5 : Solution étalon d'Ammoniac

Dosage d'ammonium

Prélever 40 ml d'échantillon à analyser, ajouter dans l'ordre :

4 ml du réactif coloré homogénéisé ;

- 4 ml du réactif de Dichloroisocyanurate de sodium, et homogénéiser.
- Après au moins 60 min, attendre le développement de la couleur. Effectuer les mesures spectrophotométriques à la longueur d'onde de 655nm comme nous avons Procédé pour la gamme d'étalonnage.

II.5. Deuxième étape : filtration de l'eau usée traité

II.5.1. L'échantillon d'eau usée utilisée

Les eaux usées utilisées lors de l'étape de filtration ont été prélevées à la sortie finale de la station d'épuration de Kaf Doukhane, avec un volume total d'échantillons collectés de 40 litres.

II.5.2 Description et fonctionnement du pilote TE 400

Le pilote de filtration TE 400 est composé essentiellement de :

- Une cuve d'alimentation en PVC transparent, cylindrique, d'une capacité utile de 150 L avec une vanne de vidange de type à boisseau sphérique en PVC et joint D'étanchéité en viton, DN 10 ;
- Une colonne de filtration en altuglas d'un diamètre intérieur de 100 mm et d'une Hauteur de 1 m contenant le matériau filtrant qui est le sable et deux grilles de support et d'arrêt de sable en laiton d'une maille de 0.5 mm;
- Deux robinets manuel de réglage, un pour le réglage du débit d'entrée VR2 et L'autre pour le réglage du débit de sortie ou filtrat VR1. Les deux vannes sont du type à membrane, en PVC et membrane en viton, DN 10;
- Charpente de support en tube carré en acier inoxydable 304 L;
- Multitubes piézométriques de mesure de la pression dans la colonne du filtre à différentes hauteurs, en altuglas, diamètre 8 mm, hauteur 500mm;
- Débitmètre à flotteur du circuit de sortie du filtrat de la colonne en PVC

Transparent DN 10; échelle variable de 20 à 200l/h avec une précision de plusOu moins 5%

- Pompe d'alimentation de la suspension composée d'un corps et d'aubages en PVC, d'un débit de 10 m³/h pour une pression de 7.5 m de colonne d'eau, Moteur électrique monophasé, 220 v, 50 Hz, 207 A. un filtre à panier à l'aspiration de la pompe; d'autres vannes à usages différents l'égende :

1 : VD1 : vanne manuelle de distribution haut filtre

2 :VA1 : vanne manuelle d'isolation collectrice multi-manomètre ;

3 : VA4 vanne manuelle d'arrêt mise à l'atmosphère

4 : VA2 : vanne manuelle d'arrêt pompe à vélo multi-manomètre

5 : Manomètre de pression;

6 :VR2 : vanne de réglage du débit d'entrée;

7 : Multitubes piézométriques

8: VA3 : vanne manuelle d'arrêt retour bac alimentation.

9 : Colonne de sable.

10 : Bouton marche/arrêt

11 : Pompe d'alimentation

12 : VD2 : vanne manuelle de distribution basse filtre

13 : Débit mètre. [22]



Figure II.6 : Pilot TE 400

II.5.3. Les différentes phases de la filtration

II.5.3.1. Filtration à sable sur à différent hauteur

Premièrement à ce stade, nous avons rempli de sable jusqu'à une hauteur de 25 cm, puis nous avons versé les eaux usées traitées jusqu'à saturation du sable, permettant ainsi la filtration de la quantité requise.

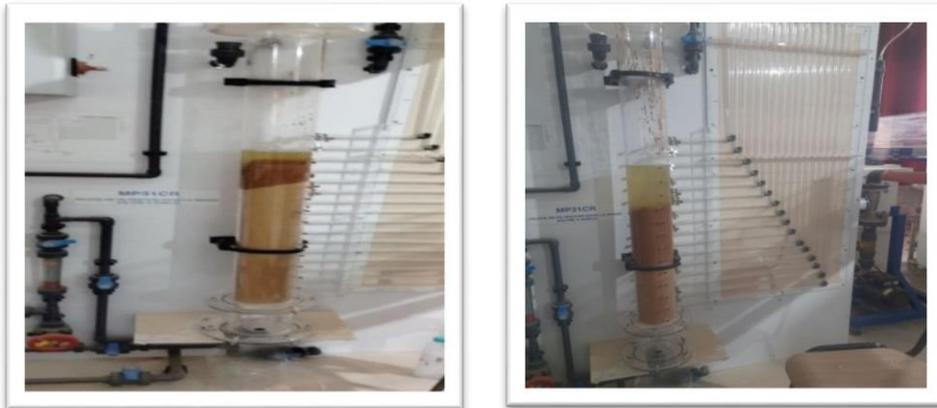


Figure II.7. Filtration à sable à différent hauteur (25 et 45 cm)

II.5.4. Paramètre chimique

II.5.4.1. Analyse des eaux usées traitées avant et après la filtration

Au cours de cette phase, un échantillon d'eau usée traitée a été prélevé avant et après le processus de filtration en vue d'une analyse chimique.

➤ Dosage de nitrate

Introduire 10ml d'eau à analyser

Ajouter 3 gouttes de la solution d'hydroxyde de Sodium à 30%

Ajouter 1 ml de solution de Salicylate de sodium à 0.5%

Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve 75-88°C

Prendre le résidu avec 2 ml d'acide sulfurique concentré

Laisser reposer 10 minutes

Ajouter 15 ml d'eau distillée

Ajouter 15 ml de tartrate double de sodium et de "potassium

Faire la lecture au spectromètre UV-Visible à la longueur d'onde de 415 nm. [24]



FigureII.8 : Les échantillons après et avant la filtration de nitrate

➤ **Dosage de nitrite**

Introduire 50 ml d'échantillon, ajouter 1 ml du réactif mixte et attendre au moins 20 min. L'apparition de la coloration rose indique la présence des NO_2 - Enfin, mesurer l'absorbance de chaque étalon à la longueur d'onde (environ 540 nm). Effectuer parallèlement au dosage, un essai à blanc en suivant le même mode opératoire en utilisant les mêmes quantités des réactifs mais en employant le même volume approprié d'eau distillée à la place de la prise d'essai.[25]



FigureII.9 : Les échantillons après et avant la filtration de nitrite

➤ **Dosage d'ammonium**

Prélever 40 ml d'échantillon à analyser, ajouter dans l'ordre :

- 4 ml du réactif coloré homogénéisé ;
- 4 ml du réactif de Dichloroisocyanurate de sodium, et homogénéiser.
- Après au moins 60 min, attendre le développement de la couleur. Effectuer les mesures spectrophotométriques à la longueur d'onde de 655 nm comme nous avons procédé pour la gamme d'étalonnage.

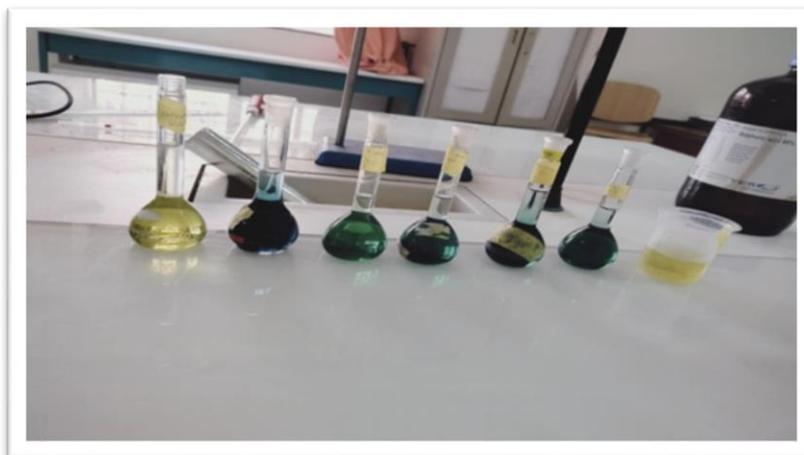


Figure II .10 : Les échantillons après et avant la filtration d'ammonium.

II.6. Conclusion

Cette étude vise à identifier la source de la concentration élevée de nitrates en deux phases principales : Premièrement, l'extraction du sable et l'analyse de l'extrait obtenu, et deuxièmement, l'analyse des eaux usées traitées avant et après avoir traversé des couches de sable à différentes hauteurs. [32]

Chapitre III:
Résultats et Discussions

Introduction

Suite à des études précédentes La filtration des eaux usées sur un sable locale choisi d'oude metlili, à révéler que le taux des éléments de pollutions ammonium et nitrites a diminué alors que le taux de nitrate a augmenté. Dans ce chapitre nous étudions la cause de l'augmentation des nitrates et d'essayer de chercher leur origine. [32]

III. 1 Résultats d'analyses

III.1.1. Résultats d'analyse chimique de l'extrait de sable et des eaux filtrées :

Les résultats des analyses chimiques effectuées sur les eaux usées rejetées par la station d'épuration de Kaf Dukhan et sur l'eau usée traitée par un filtre à sable sont présentés dans le tableau suivant

III.1.1.1. Les courbes d'étalonnage

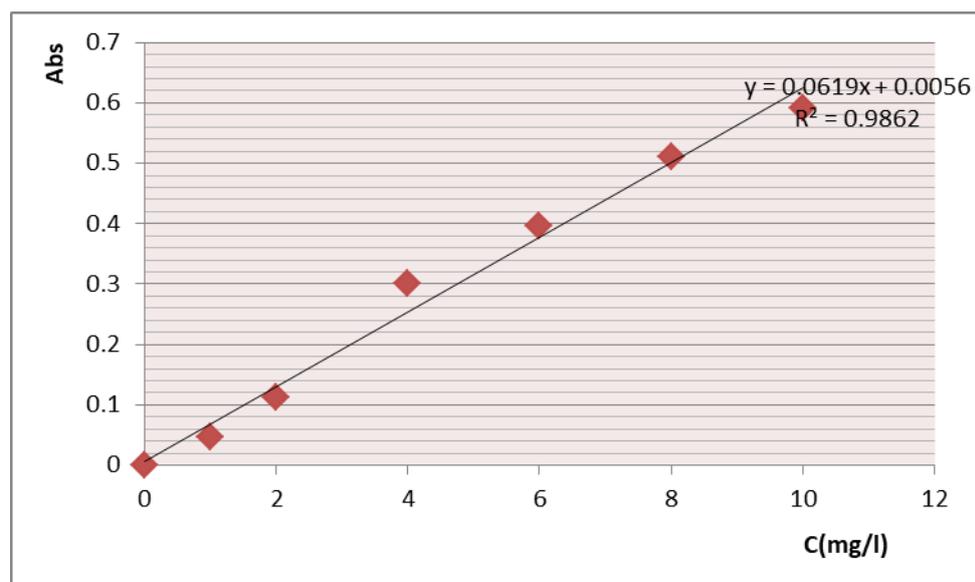


Figure III.1 : Courbe d'étalonnage de NO_3^-

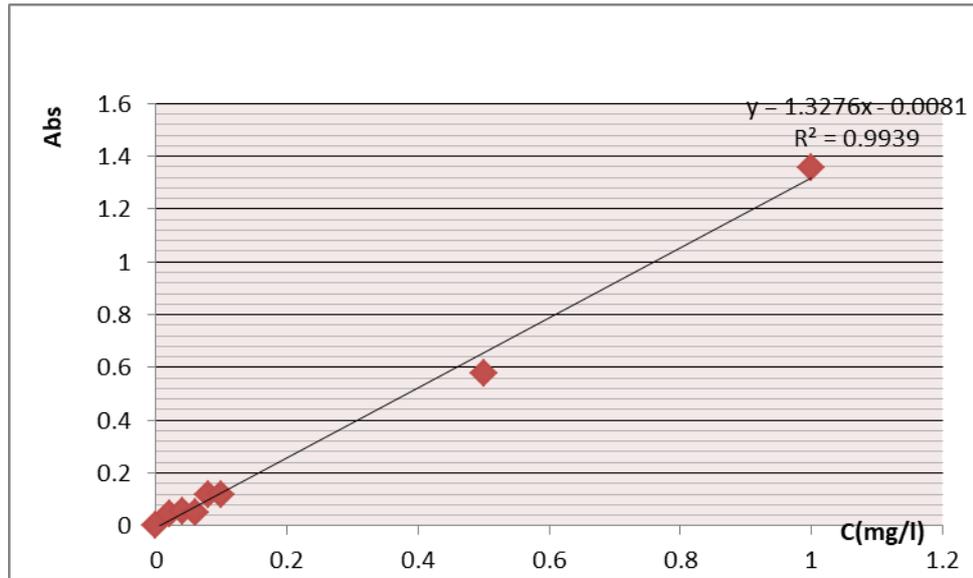


Figure III.2 : Courbe d'étalonnage de NO_2^-

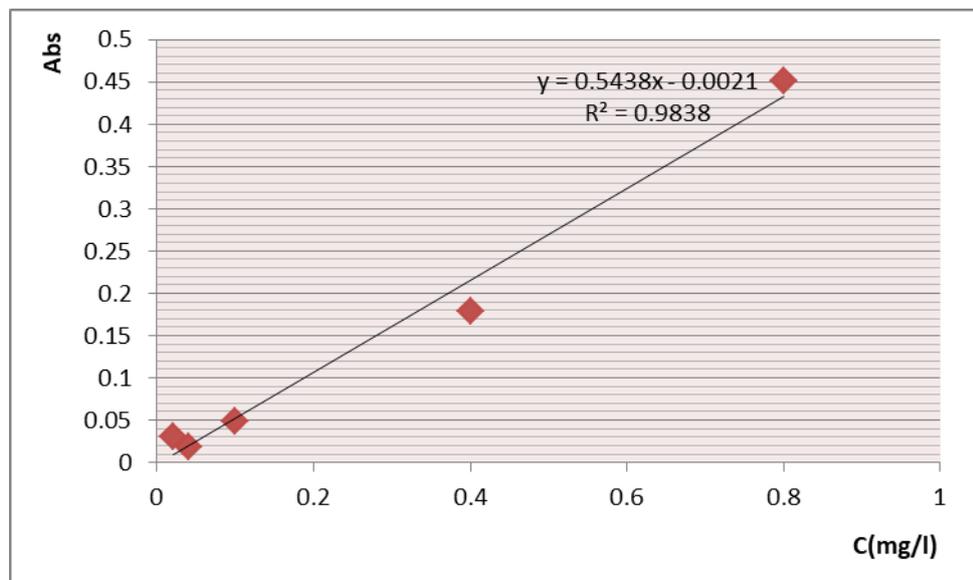


Figure III.3 : Courbe d'étalonnage de NH_4^+

Nous avons effectué des analyses pour mesurer les concentrations de nitrate, de nitrite et d'ammonium dans l'extrait de sable de dune et les eaux usées (sortant de la station) contaminées, avant et après filtration. Ces analyses visaient à confirmer que le sable n'était pas la principale source d'oxydation et que la filtration était efficace pour éliminer les contaminants.

Les résultats sont présentés en détail dans les tableaux suivants, facilitant ainsi la compréhension et l'analyse des données

Tableau III.1 : les résultats d'analyse chimique des composés azotés (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-) de L'extrait de sable

Les éléments	concentration (mg/l)
NH_4^+	0.235
NO_2^-	0.135
NO_3^-	2.91

Tableau III.2 : les résultats d'analyse chimique des composés azotés (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-) des eaux usées sortant de la station :

Les éléments	concentration (mg/l)
NH_4^+	3.97
NO_2^-	0.319
NO_3^-	3.98

Tableau III.3 : les résultats d'extrait de sable, eau usée sortant de la station et leur Filtrat à plusieurs niveaux de sable :

Les éléments	L'extrait de sable	Eau usée	eaux filtrées			
			25 cm	45 cm	60 cm	80 cm
NH_4^+ (mg/l)	0.235	3.97	0.696	1.026	1.184	1.410
NO_2^- (mg/l)	0.135	0.319	0.710	0.846	1.373	2.044
NO_3^- (mg/l)	2.91	3.98	55.9	56.8	57.53	56.98

Analyse de (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-) sur

- **l'extrait de sable :** les concentrations de NH_4^+ (0.235 mg/l), NO_2^- (0.135 mg/l) NO_3^- (2.91 mg/l) présente des taux négligeable par rapport dans l'eau usée sortant de la station et leur filtrat de plusieurs niveaux

- **Les eaux usées sortant de station** : contiennent des concentrations élevées de NO_3^- et de NH_4 .
- **Filtrat d'eau usée à plusieurs niveaux de sable** : La diminution de NH_4^+ et NO_3^- , notamment au premier niveau, indique l'efficacité de la filtration sur sable.

III.2. Paramètres des pollutions : Ammonium NH_4^+ , Nitrite NO_2^- et Nitrate NO_3^-

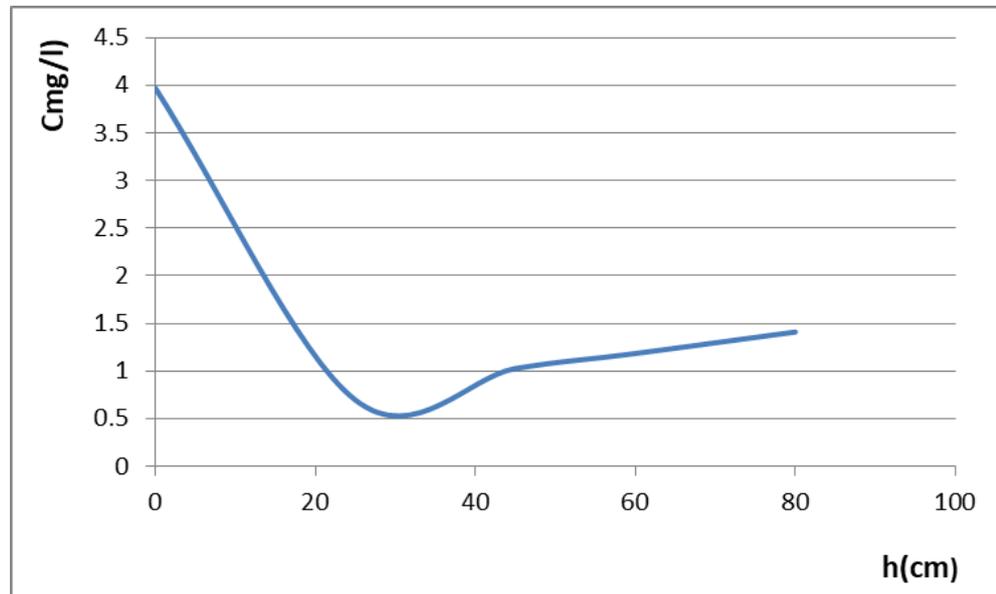


Figure III.4. : $[\text{NH}_4^+]$ à différentes hauteurs du filtre.

- Cette courbe représente l'évolution de la concentration en NH_4^+ en fonction de la hauteur de sable d'oude metlili. On constate NH_4 diminue fortement après la première filtration, ce qui indique une élimination efficace, mais remonte faibles puis stabilise au niveau suivant 45 cm- 60cm

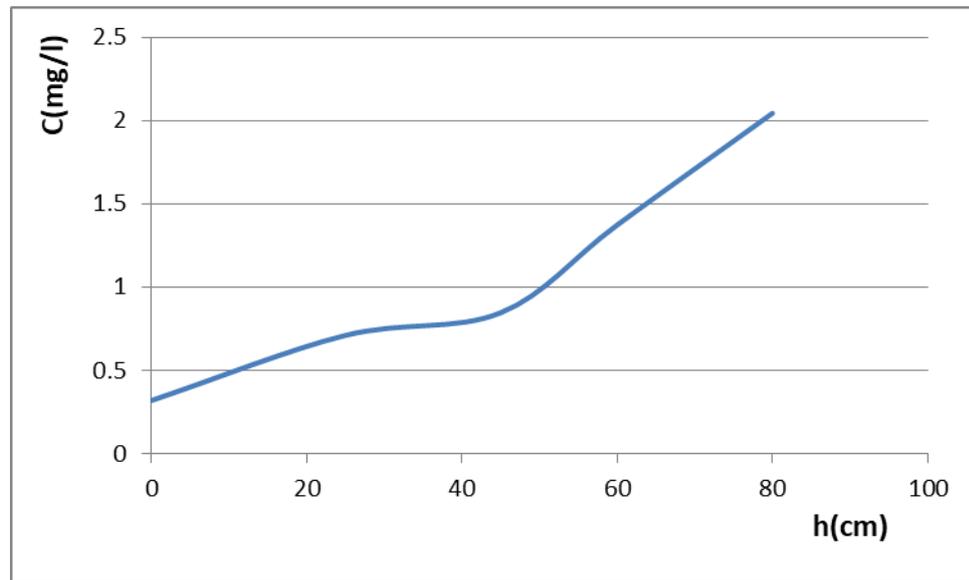


Figure III.5 : $[\text{NO}_2^-]$ à différentes hauteurs du filtre

- La courbe montre une augmentation de la concentration en nitrites à mesure que le niveau d'eau monte, ce qui suggère une possible oxydation de l'ammonium ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$). Cependant, comme la concentration en nitrites ne diminue pas comme prévu dans les phases ultérieures de l'oxydation, cela pourrait indiquer une réaction inverse ou un équilibre entre les nitrites et les nitrates, et peut-être aussi l'ammonium.

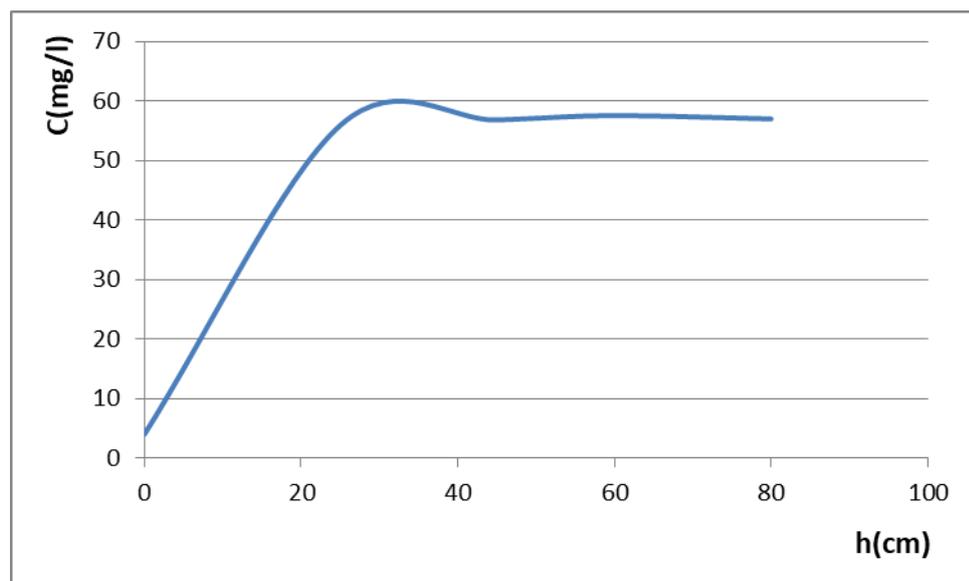


Figure III.6 : $[\text{NO}_3^-]$ à différentes hauteurs du filtre.

Cette courbe représente l'évolution de la concentration NO_3^- en fonction de la hauteur de l'eau passante. La concentration en NO_3^- augmente rapidement dans le premier niveau puis tend à se stabiliser au niveau suivant 45 cm et 60cm

- Cela est dû à l'oxydation du nitrite en nitrate.

Conclusion

Les résultats ont montré que le sable n'est pas une source majeure d'éléments de pollution. Il a également été observé que la liquidation du sable est efficace, en particulier au premier niveau, réduisant la concentration d'ammonium, indiquant la possibilité d'oxydation de l'aluminium au nitrite puis dans les nitrates. [19]

Conclusion générale

Conclusion Générale

Conclusion générale :

Le traitement des eaux usées est une étape essentielle dans la préservation de l'environnement et de la santé publique, car il contribue à réduire la pollution et à protéger les ressources en eau, dans le but d'améliorer la qualité de l'eau et de la rendre apte à être utilisée dans l'agriculture ou l'industrie .

Dans ce travail, basé sur une étude précédente sur la purification des eaux usées traitées par filtration sur sable pour éliminer les polluants azotés. Les résultats ont montré une augmentation de la concentration en nitrates et une diminution des concentrations en ammonium et en nitrites

Nous avons pu déterminer la cause de cette augmentation des nitrates grâce à l'extraction du sol et à l'analyse de l'extrait de sable, et nous avons également analysé les eaux usées traitées sortant de la station avant et après la filtration sur sable à différents niveaux. Les analyses de l'extrait de sable et de l'eau traitée ont confirmés que la transformation biochimique de l'azote est liée aux processus d'oxydation dans le milieu filtré et non aux propriétés du sable lui-même, et que l'absence de bactéries n'affecte souvent pas le processus d'oxydation

L'étude a également prouvé que le processus de filtration sur sable des eaux usées traitées à différentes hauteurs provoque des changements clairs dans la concentration des différentes formes d'azote, en particulier les premiers niveaux où la concentration d'ammonium diminue en préparation du processus de nitrification par lequel le NO_2^- est produit, et la réduction dans la direction opposée conduit à l'instabilité du nitrite soit en augmentant soit en diminuant sa concentration, et cette étape est considérée comme une transition vers l'étape de nitrification dans laquelle le nitrite est converti en nitrate, ce qui explique les résultats que nous avons obtenus.

*Références
bibliographies*

Références bibliographiques

Références bibliographiques:

- [1] MEHAMMEDIA A et TOUATI T, 2020, **Mémoire Evaluation de l'efficacité de la station d'épuration des eaux usées (STEP) de Guelma par Khalifa** Université du 8 mai 1945 Guelma
- [2] BOUKHARI Hassiba, 2019/2020, **Mémoire Etude physico-chimique des eaux usées traitées de la STEP de Draa El Mizan pour des fins de valorisation agricole** UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU .
- [3] Kaddouri I Mebarki F , 2019 – 2020, **Mémoire Epuration des eaux usées par filtration sur sable (cas des bains maures à Adrar ville)** Université de Biskra.
- [4] AOUADJ I - LEMNAOUER R, 2019 – 2020, **Mémoire ÉVALUATION DU TRAITEMENT DES EAUX USÉES DE LA STATION DE N'GOUSSA(OUARGLA) PAR LES PLANTES** UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA.
- [5] MOUSSA HAIDAR Chaden, 22 octobre 2014, **THESE EVALUATION DE LA QUALITE DE L'EAU DU BASSIN SUPERIEUR DE LA RIVIERE DU LITANI, LIBAN : APPROCHE HYDROGEOCHIMIQUE** Université de Lorraine.
- [6] SELLAL Abdelhakim, 1er février 2018, **Thèse Etude de la pollution de Oued K'sob (région de Bordj Bou Arreridj) et de l'effet phyto-accumulateur de Phragmites australis (roseau)** Université Ferhat Abbas Sétif 1.
- [7] RAHMATA et autre, Juin 2022, **Mémoire de Master LES AGENTS RESPONSABLE DE LA BIOREMÉDIATION DE L'ENVIRONNEMENT ABDURRAMANE** Université 8 Mai 1945 Guelma .
- [8] INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité). **Le traitement des eaux usées. Réseau 3RB – Ressources sur le risque biologique**, Document ED 5026, novembre 2004.
- [9] Bouteffas W Benoughidene S, Juin 2016, **Mémoire de Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de quatre sources d'eau dans le bassin de Guelma** Université 8 Mai 1945 Guelma.
- [10] Babou L M'zyene Nacera, 2017/2018, **Mémoire Suivi des paramètres physico-chimiques et biologiques des eaux brutes et traitées de la STEP Est de Tizi-Ouzou** Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- [11] Gana et Draoui A, 2022/2023, **Mémoire Étude de l'efficacité du procédé de phytoépuration appliqué au niveau de la STEP de Mraguen (Wilaya d'Adrar)** Université KASDI-MERBAH Ouargla.
- [12] Batoul BENKADDOUR, 02 octobre 2018, **Thèse Contribution à l'étude de la contamination des eaux et des sédiments de l'Oued Cheliff (Algérie)** UNIVERSITÉ DE PERPIGNAN VIA DOMITIA,et UNIVERSITÉ DE MOSTAGANEM.

Références bibliographiques

- [13] CHIBANE Katia & DJENNAD Lynda, 2018/2019, **Mémoire Caractérisation physico-chimique et dosage de quelques métaux lourds de certaines sources d'eau de la région de M'Chedallah wilaya de Bouira** UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ – BOUIRA.
- [14] GEUBLI S, 2022/2023, **Mémoire Etude physico-chimique pour la détermination des effluents responsable de la pollution au niveau oued ElMactaa, l'embouchure et l'eau de la mer** Université Abdelhamid IbnBadis-Mostaganem.
- [15] AGGOUNE K. BOUCHEMEL N. Juillet 2019, **Mémoire Analyses des paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux du barrage Bouhamdane de Hammam Debagh et des quatre forages de la nappe phréatique d'Oued El Maiz-Guelma** Université 8 Mai 1945 Guelma .
- [16] DERONZIER Gaëlle, SCHÉTRITE Sylvie, RACAULT Yvan, CANLER Jean-Pierre, LIÉNARD Alain, HÉDUIT Alain, DUCHÈNE Philippe. **Traitement de l'azote dans les stations d'épuration biologique des petites collectivités. Document technique FNDAE n° 25, 2e édition, Cemagref, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, France, 2001, 80 p.**
- [17] (Nitrification in saline industrial wastewater _Moustafa Samir moussa_ avril2004)
- [18] S. Pellerin et al, 2014, (coord.) ,Fertilisation et environnement - Quelles pistes pour l'aide à la décision ?
- [19] Sequencing Batch Reactors for Nitrification and Nutrient Removal -EPA 832-R-92-002 (September 1992)
- [20] **GHRIB A, 2014, Étude de Stabilisation pour la Valorisation des Sables de Dune en Assises de Chaussée – Étude Comparative Entre Trois Sables de la Région de Djelfa (Algérie)** , Thèse de doctorat, Ecole Nationale Polytechnique
- [21] EZZIANE Souad née cherifi, 2006; 2007, **LE MEMOIRE -Présenté pour obtenir le diplôme de MAGISTER, TRAITEMENT DES EAUX DE REJETS DE L'UNITE CERAMIT "TENES"** université hassiba ben bouali, Chelef.
- [22] FichetechniqueTE400: «ManueldupilotedefiltrationTE400»
- [23] méthode d'essai meac-lab 04 laboratoires de l'ade version 1 dosage de l'ammonium par spectrométrie a l'aide de salicylate de sodium.
- [24] méthode d'essai meac-lab 04 laboratoires de l'ade version 1 dosage de nitrate par spectrométri a l'aide de salicylate de sodium.
- [25] méthode d'essai meac-lab 04 laboratoires de l'ade version 1 dosage de nitrite par spectrométrie a l'aide de salicylate de sodium.
- [26] Alard, Didier. Nourrir la planète sans l'uniformiser : **les dangers de la pollution à l'azote. Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité (FRB)**, avril 2019

Références bibliographiques

[27] Clauss, D., Pierre, H., & Grisillon, J. L'Azote. **Journal de Physique et de Chimie des Étudiants (JPCE)**, n° 4, 24 mai 2021, pp. 13-28

[28] Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ). **Méthode d'analyse – MA. 300 – NO3 2.0 : Détermination des nitrates et des nitrites – méthode colorimétrique automatisée avec le sulfate d'hydrazine et le N.E.D. Révision 2**, 15 décembre 2014. Québec, Canada.

[29] MEZIANI I- HACHACHE B, 2015- **Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique de l'eau de la moyenne Seybouse**, Mémoire de Master, Université 8 MAI 1945 GUELMA

[30] BELLABIDI A, 2022- **Caractérisation physico-chimique de sable des dunes dans les régions Ouargla, Touggourt et El Oued**, Mémoire master, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA.

[31] BEN DHIA M ,1998- **Quelques particularités de l'utilisation du sable de dune en construction routière en milieu saharien**, article Evaluation de taux de dépollution.

[32] bellakehal. A bellemherbet k , 2023/2024, **Mémoire master évaluation de taux de dépollution des eaux usées à l'aide d'un système de filtration à sable** Université de Ghardaïa .

[33] Sail, I. (2025). Filtration lente sur sable. Appropedia – Wiki de solutions durables

[34] DE LAAT Joseph (2018), **Pourquoi et comment traiter les eaux usées urbaines ?**, **Encyclopédie de l'Environnement**, [en ligne ISSN 2555-0950] url : <http://www.encyclopedie-environnement.org/?p=5771>.

[34] BADLIS Z,2023-Filtration biologique sur sable de dunes : essai de caractérisation de matériau filtrant en vue d'une réutilisation-these doctorat-Université kasdi Merbah Ouargla

Annexe

ANNEXE 1 : Normes Algériennes

Les valeurs limitent des paramètres de rejet dans un milieu récepteur (Décret exécutif N°06-141 du 19 avril 2006 Définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels). Liste non exhaustive

Parameters	Unité	Normes
Température	°C	30
PH	-	6.5<PH<8.5
MES	mg/l	35
AzoteKjeldahl	mg/l	30
Phosphore total	mg/l	10
DCO	mg/l	120
DBO ₅	mg/l	35
Huiles et graisses	mg/l	20

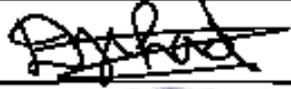
Source : Journal officiel de la république Algérienne N°26 du 23 Avril 2006

Annexe

ANNEXE 2 : Normes Internationales OMS des rejets liquides

Paramètres	Unité	Normes OMS
pH	-	6.5-8.5
DBO ₅	mg/l	<30
DCO	mg/l	<90
MES	mg/l	<20
NH ₄ ⁺	mg/l	<0,5
NO ₂ ⁻	mg/l	1
NO ₃ ⁻	mg/l	<1
P ₂ O ₅	mg/l	<2
Température	°C	<30
Couleur	-	Incolore
Odeur	-	Incolore

Autorisation d'impression finale d'un mémoire de master

	Nom et prénom	Signature
Examineur 1	Dr.MOULAI Kerroumia	
Examineur 2	Dr.BENTARFA Djehad	
Encadrant	Dr.Bouamer khaira	

Soussigne Mr: Dr.BABA Arbi Ilias

Président de jury des étudiant (s):

Filière :Génie des procédés ; Spécialité :Génie chimique

Thème: Estimation de taux de la matière azoté dans un sable destiné au Traitement des eaux usées

Autorise le (s) étudiant (s) mentionné (s) ci-dessus à imprimer et déposer leur (s) manuscrit final au niveau du département.

Ghardaïa le: 09/07/2025

Président de jury

Baba arbi Ilias


Le chef de département


جامعة غرداية
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم هندسة
الطرائق 1-
بوعامر خليفة

