



MEMOIRE DE MASTER

Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique

Option: CONCEPTION DES SYSTEMES D'ASSAINISSEMENT

THEME :

**Contribution à l'étude des performances d'Épuration par boues
activées.**

Présenté par :

BRIK SIHEM

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
AMMARI Abdelhadi	M.C.A	Président
BELLABAS Salima	M.C.B	Examineur
BOUNNAH Younes	M.A.A	Examineur
SALAH Boualem	Professeur	Promoteur

Session: Décembre2023.

REMERCIEMENT

Mes premiers remerciements à mon dieu, qui m'a inspiré la force et la patience pour accomplir ce modeste travail.

Je remercie mes très chers parents ;

*Mes sincères remerciements à mon promoteur monsieur le professeur **SALAH Boualem**, qui a le grand mérite pour la réalisation de mon mémoire.*

Je remercie également les membres de jury qui me feront l'honneur d'évaluer mon travail.

Merci à tous.

DEDICACE

Je dédie ce travail

Aux personnes les plus chères et les plus proches

À mon père KOUIDER, mon soutien dans la vie et le symbole du don, que Dieu te garde

À ma mère AICHA, la source de tendresse et de joie

À mes chers frères : LAKHDER, ZINOUE, ABD EL RAHMANE et mon petit frère NADIR

À mes sœurs, KHAWLA et MARWA

Aux amies d'enfance : GHIZLEN, SAHAR, SARA, IKRAM, MARWA, HADJER

*À mes camarades : YOUSRA, GHANIA, FADWA, NADJWA, HADJER, RAJAA, KHAIRA,
AMANI*

À tout la famille BRIK et BENAOUA

À tous ceux que j'aime, vous avez tout mon amour et ma gratitude de ma part.

ملخص

يمكن أن يتسبب التصريف المباشر لمياه الصرف الصحي دون معالجة في آثار ضارة على البيئة وكذا الصحة العامة ، لذلك من أجل تجنب مثل هذه المشاكل ، فإن معالجة هذه المياه العادمة امر ضروري. عملية تطهير مياه الصرف الصحي باستعمال الحمأة النشطة هي عملية معالجة بيولوجية في مزرعة البكتيريا الحرة وتعتبر هذه التقنية اكثر التقنيات استخداما الهدف من هذا العمل هو فهم طريقة عمل الحمأة النشطة فأولا وقبل كل شيء ، قمنا بعمل التقدم الجاري حول هذه التقنية ثم تطرقنا الى فهم نظام عمل المحطات التطهير بالحمأة النشطة وفي نهاية هذا العمل سنساهم في دراسة حالة يتم فيها استخدام عملية الحمأة النشطة.

الكلمات المفتاحية : مياه الصرف الصحي، المعالجة البيولوجية ، الزراعة الحرة ، الحمأة النشطة ، التطهير.

Résumé :

Le rejet direct des eaux usées vers le milieu naturel sans traitement, peut engendrer des effets néfastes sur l'environnement et la santé publique donc afin d'éviter ces problèmes le traitement de ces eaux usées est indispensable. Le procédé par boues activées est la technique de traitement la plus utilisée ce procédé d'épuration des eaux usées est un procédé de traitement biologique en cultures libres. L'objectif de ce travail est de comprendre le fonctionnement épuratoire des stations d'épurations par boues activées, en premier lieu, nous avons fait une synthèse bibliographique sur cette technique, puis introduire au mode de fonctionnement des unités de dépollution par boues activées, et à la fin de ce travail on va contribuer à l'étude d'une cas où le procédé par boues activées est utilisé.

Les mots clé : les eaux usées, traitement biologique, culture libre, boues activées, dépollution

Abstract:

The direct discharge of wastewater to the natural environment without treatment can cause harmful effects on the environment and public health, so in order to avoid these problems, the treatment of this wastewater is essential. The activated sludge process is the most widely used treatment technique this wastewater purification process is a biological treatment process in free cultures. The objective of this work is to understand the purification operation of activated sludge treatment plants, first of all, we have made a bibliographic synthesis on this technique, then introduce to the operating mode of activated sludge depollution units, and at the end of this work we will contribute to the study of a case where the activated sludge process is used.

The key words: wastewater, biological treatment, free culture, activated sludge, depollution.

SOMMAIRE

Introduction générale

Partie 1 : synthèse bibliographique

Introduction.....	01
I. Historique et synthèse bibliographique	01
Conclusion :.....	02

Partie 2 : L'épuration des eaux usées par boues activées

Introduction	03
I.2) La pollution des eaux	03
I.2.1) définition de la pollution des eaux	03
I.2.3) Les Paramètres caractéristiques les eaux usées	03
I.2.3.1) Les Paramètres physico-chimiques	03
a) La température	03
b) Le Potentiel Hydrique (pH)	04
c) La Conductivité électrique (CE).....	04
d) la Turbidité	04
e) Les matières en suspension MES	05
f) les matières volatiles en suspension MVS.....	05
g) Les matières minérales en suspension MMS	05
h) Les matières décantables et non décantables	05
I.2.3.2) les Paramètres organoleptiques	05
a) la couleur	05
b) L'Odeur.....	05
I.2.3.3) les Paramètres chimiques	06
a) Les Demandes en Oxygène	06
a.1) Demande Biochimique en Oxygène (DBO ₅)	06

a.2) Demande chimique en Oxygène (DCO)	06
a.3) Carbone organique total C.O.T	07
b) Les nutriments.....	08
b.1) L'azote	08
b.1.1) L'azote organique	08
b.1.2) L'azote ammoniacal (NH_4^+).....	08
b.1.3) L'azote nitreux (NO_2^-).....	08
b.1.4) L'azote nitrique (NO_3^-).....	08
b.2) phosphore	08
I.2.3.4) Paramètres biologiques	09
a) Les bactéries pathogènes	09
b) Les virus	09
c) les parasites	09
d) Les champignons	09
e) Les normes de rejet	09
f) Normes OMS	09
g) Les normes algériennes de rejet des effluents.....	10
II.1) L'épuration des eaux usées	12
II.1.1) Définition	12
II.1.2) L'implantation d'une station d'épuration	12
II.1.3) Choix d'une technologie de l'épuration	13
II.1.4) Les procédés d'épurations biologiques des eaux usées	13
II.1.4.1) Les procédés extensifs :.....	13
II.1.4.2) Les procédés intensifs :.....	13
II.2) L'épuration des eaux usées par boues activées :.....	13

II.2.1) Les étapes d'épuration des eaux usées :.....	13
a)Le prétraitement	13
a.1) dégrillage	14
a.2) dessablage-déshuilage	14
b) Traitement primaire.....	15
b.1) Types de décantation	15
C) Les Traitements secondaires	17
C.1) Traitement biologique	17
C.1.1) Les phases d'évolution d'une culture bactérienne	17
C.1.2) Nitrification-dénitrification	19
C.1.2.1) Nitrification :.....	19
C.1.2.2) Dénitrification :.....	19
C.2) décantation secondaire	20
C.2.1) Recyclage des boues	21
d) Le traitement tertiaire	21
d.1) La désinfection	21
d.1.1) La chloration	21
d.1.2) L'ozonation	21
d.1.2.1)Les avantages d'ozonation	22
d.1.2.2)Les désavantages d'ozonation	22
d.1.3) Le rayonnement ultraviolet	22
d.2) Problème du phosphore	23
E) Le traitement des boues.....	23
e.1) Stabilisation	23
e.1.1) Les techniques de la stabilisation es boues	24
e.1.1.1) Stabilisation physique :.....	24

e.1.1.2) Stabilisation chimique	24
e.1.1.3) Stabilisation biologique.....	24
e.2) Épaississement	24
e.3) La déshydratation mécanique	25
e.3.1) La déshydratation par lits de séchage	25
e.3.2) Bande presseuse	25
F) L'évacuation des boues	27
F.1) La valorisation des boues en agriculture	27
F.2) L'incinération	27
F.3) La méthanisation	28
F.4) La mise en décharge	28
G) La réutilisation des eaux usées	29
H) Les avantages et les inconvénients du procédé d'épuration des eaux usées par boues activées.....	30
H.1) Les avantages	30
H.2) Les inconvénients	30
I) Mesure des paramètres de pollution	31
Conclusion	31

Conclusion générale

Références bibliographique

LISTE DES FIGURES

Partie 02

FigureII.1 : dégrilleur

FigureII.2 : déssableur-déshuileur

FigureII.3 : décanteur

FigureII.4 : Développement d'une culture bactérienne.

FigureII.5 : bassin biologique

FigureII.6 : le procédé Nitrification-dénitrification

FigureII.7 : Exemple d'un clarificateur

FigureII.8 : schéma de recyclage de boues

FigureII.9 : la sortie des eaux épurées d'après chloration.

FigureII.10 : épaisseur

FigureII.11 : lit de séchage

FigureII.12 : Boues en la sortie d'un filtre à bandes

FigureII.13 : L'épandage agricole des boues d'épuration.

FigureII.14 : l'ouvrage d'incinération

FigureII.15 : l'ouvrage de la méthanisation

FigureII.16 : répartition par secteur et localisation des expériences mondiales les plus importantes en réutilisation des eaux résiduaires urbaines

Partie 03

Figure III.1 : Vue de ciel de la station d'épuration d'Ain El Beida

Figure III.2 : Vue aérienne de la station d'épuration d'Ain Témouchent.

LISTE DES TABLEAUX

Partie 02

Tableau II.1 : Classes de turbidité usuelles (NTU).

Tableau II.2 : Valeur de la DCO selon l'origine des eaux

Tableau II.3 : les caractéristiques des eaux selon le rapport $\frac{DCO}{DBO_5}$

Tableau II.4 : Valeurs limite des paramètres de rejets suivant l'OMS.

Tableau II.5 : Valeurs limite des paramètres de rejets dans un milieu récepteur

Tableau II.6 : Les appareils de mesure utilisés Boubeki.

Partie 03

Tableau III.1 : Les caractéristiques techniques de la STEP d'Ain el Beida. (Source STEP d'Aïn El Beïda).

Tableau III.2: Les résultats des analyses des échantillons d'eau prélevé (Source STEP d'Aïn El Beïda).

Tableau III.3 : Les caractéristiques techniques de la STEP d'Ain Témouchent

Tableau III.4: Les résultats des analyses des échantillons d'eau prélevé.

LISTE DES ABREVIATIONS

JORAD: Journal Officiel de la République Algérienne.

NTU : Turbidités usuelles (Nephelometric turbidity unit)

Ce : Conductivité électrique.

COT : Carbone total organique.

V30 : Test de décantation.

DBO: Demande biochimique en oxygène.

DCO: Demande chimique en oxygène.

MES : Matière en suspension.

MMS : Matière minérale sèche. P : phosphore.

MS : Matière sèche.

MVS : Matière volatile sèche. N: Azote.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

PH : Potentiel d'hydrogène.

STEP: Station d'épuration.

T: Température.

UV: Ultraviolet.

NH₄⁺ : l'azote ammoniacal (mg/l).

NH₃⁻ : ammoniac (mg/l).

NO₂⁻ : nitrites (mg/l).

NO₃⁻ : nitrates (mg/l).

O₂ : l'Oxygène

NaO Cl : hypochlorite de sodium

Cl₂ : chlore gazeux

ClO₂ : bioxyde de chlore

C° : degré Celsius

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

L'eau est définie comme l'un des composants de base de la continuité de la vie, car elle en dépend pour la plupart des usages humains, de la boisson, du nettoyage et des industries. Il couvre une superficie de 71% de la superficie totale de la Terre, c'est un composé aux propriétés physiques et chimiques, et les modifications de ces propriétés entraînent une pollution, et c'est là que réside la définition des eaux usées comme une eau soumise à tout changement de ses propriétés, qu'elles soient physico-chimiques naturelles ou biologiques.

Ces eaux peuvent être contaminé par les eaux usées domestiques ainsi que les eaux usées industrielles qui sont rejetées directement vers le milieu récepteur sans avoir les traitées, cette pollution affecte non seulement les cours d'eaux mais plus généralement tout le milieu naturel.

De ce fait la construction d'une station d'épuration des eaux usées est indispensable afin d'épurer les eaux pour protéger l'environnement et la santé publique et de pouvoir les réutiliser. Lorsque le débit d'eaux usées à traiter est grande, le procédé d'épuration par boues activées est aujourd'hui la solution la plus fiable avec des résultats satisfaisants .L'épuration des eaux usées par boues activées est une technique basée sur l'activité des micro-organismes qui existent dans les effluents.

Notre travail a pour objectif, Contribution à l'étude de l'Épuration par boues activées, Ce travail, est divisé en trois parties , dont le premier chapitre portera l'état de l'art sur le procédé d'épuration biologique a boues activées, la deuxième partie présente les différents étapes de traitement des eaux usées, et la troisième partie concerne des exemples et des résultats de recherche.

Partie 1

Synthèse bibliographique.

- **Introduction :**

Le procédé d'épuration des eaux usées par boues activées est l'un des procédés les plus utilisés, le traitement des effluents par boues activées consiste à dégrader par voie aérobie la matière organique polluante à l'aide des microorganismes dans un bassin biologique, C'est un mode d'épuration par cultures libres. Dans cette partie, nous allons voir une synthèse bibliographique sur ce procédé, tout en donnant un aperçu général sur l'historique de cette technique d'épuration des eaux usées.

- **Historique et synthèse bibliographique :**

Dans sa vie primitive, l'homme comptait sur les cours d'eau des rivières, des mers et des vallées comme lieu de déversement de ses eaux usées, contournant les problèmes de pollution dus à la capacité des cours d'eau à s'auto-purifier, mais cela n'a pas duré longtemps, car avec l'augmentation de la population et le développement industriel, l'avantage de l'auto-purification est devenu indisponible, car l'augmentation de la quantité de polluants il en résultait un manque d'oxygène, ce qui entraînait la mort de ces derniers. Le rejet direct des eaux usées, à savoir les eaux usées, a été causé par la propagation des odeurs, ainsi que par les moustiques, ce qui a entraîné une aggravation des maladies et une détérioration des conditions sanitaires, non seulement cela, mais cela a entraîné une contamination des eaux souterraines, d'où l'idée de le traitement des eaux usées est apparu. L'histoire du traitement des eaux usées dans les zones urbaines remonte à la **Rome antique**, lorsque les gens ont commencé à créer des fosses pour collecter les eaux usées polluées après le processus de collecte des eaux sales dans les aquariums, l'idée de traiter l'eau avant le rejet a commencé à apparaître. L'une des méthodes les plus anciennes de traitement des eaux usées est la stratification, puis l'utilisation de filtres en bois et en métal, puis l'utilisation de filtres à sable. Ces techniques mentionnées étaient considérées comme les plus importantes à cette époque, mais avec le développement que le monde a connu au 18ème siècle après JC, la technique de traitement traditionnelle a été avancée aux techniques modernes dans les stations de traitement, en **1807** la première station au monde a été établie dans la ville **écossaise de Glasgow** et c'était un moyen La filtration est la méthode utilisée pour le traitement, suivie par la station qui a été établie en **Grande-Bretagne** en **1885** et suivie par les **États-Unis d'Amérique**. [1]

En **1880**, l'année de la puanteur à **Paris**, une commission technique est chargée de retenir les procédés innovants d'épuration autres que les champs d'épandage. **Charles Lauth**, cofondateur de l'école de chimie de Paris, propose son procédé expérimenté au laboratoire, par lequel en quelques heures d'aération par bullage d'air, l'eau d'égout se trouve notablement épurée. La commission rejette ce procédé pour cause de non nitrification et laisse passer l'occasion de voir naître les cultures libres épuratrices.

. La pandémie de choléra de **1892** sévit en **Russie, en Allemagne, effleure New York**, atteint **Paris** et déclenche en urgence les décisions d'épurer les eaux d'égout, via le projet conçu 20 ans plus tôt et remanié entre-temps en tenant compte des oppositions. En **1895**, la première tranche de travaux d'assainissement des eaux d'égout de Paris par irrigation sur champs d'épandage est inaugurée. Mais en **1900**, date de la deuxième tranche de 5 000 ha de champs d'épandage, le procédé est obsolète face aux perspectives des lits bactériens de contact ou percolateurs, C'est pourquoi la ville de Paris teste en vraie grandeur ces nouveaux procédés dans l'espoir de soulager, par un traitement expéditif des eaux usées, les champs d'épandage saturés qu'il n'était pas question de supprimer après les emprunts et travaux babéliques qu'ils avaient demandés. Un autre pôle assainisseur en France est l'Institut Pasteur de Lille, créé par Albert Calmette en **1903**, Il avait construit à **La Madeleine** (Lille) une station expérimentale de lits bactériens de contact, fondé une revue technique prestigieuse, publié des manuels techniques exhaustifs, jouissant de l'enviable appui de la presse influente.

Le service d'assainissement de paris en **1914** comporte des unités expérimentales disposées dans les différents sites de traitement. À **Mont-Mesly**, se font les essais de décantation sur fosses septiques couplées à des lits bactériens de contact ou à percolation, À **Gennevilliers**, au « jardin modèle », les essais de différents garnissages de lits bactériens à percolation, À **Colombes**, avec son usine réservée aux essais nécessitant des pièces mécaniques lourdes et complexes pour la construction de pilotes semi-industriels, À **Fond de Vaux** (Pierrelaye), on mène des essais de débits maximaux acceptables sur deux lits bactériens à percolation, un à **sprinklers**, l'autre à **pont baladeur**, À **Clichy**, se font des essais sur un lit bactérien, financé par l'entreprise SGEA dans un but de référence.

Avec ou sans apport de silice À **Colombes**, en **1917**, est étudié le traitement des eaux d'égout par voie chimique à la chaux avec ou sans apport de silice (sable très fin) suivi d'une épuration finale sur cinq filtres percolateurs rectangulaires en série, de 2 m² de surface chacun, pourvus d'une aération par injection d'air dans le but de décolmater les matériaux filtrants. C'est suite à des articles de **E. Ardern** et **W.T. Lockett** ainsi que de **E. Melling** dans le Journal of the Society of Chemical Industries et le Surveyor, et à des conférences de **1914 à Manchester**, qu'en France des responsables de l'assainissement parisien expérimentent, Il est indiqué que l'idée de boues activées est née à la station expérimentale de Lawrence, d'un visiteur **G.J.FOWLER**. Le terme boues activées apparaît pour la première fois désignant la biomasse produit par le procédé. La réalisation de la première unité de traitement des effluents à boues activées se fait à Manchester en **1914 (Edeline, 1914)**, et constitue le procédé le plus couramment utilisé.

En **1915**, cette nouvelle technique épuratrice apparemment performante et séduisante. À cette fin, on réaménage les cinq filtres percolateurs en bassins d'aération déjà équipés d'injecteurs d'air. Le premier bassin fonctionne par intermittence, les quatre autres en continu. C'est de toute vraisemblance la première installation de boues activées à l'échelle semi-industrielle en France.

Quelques audacieux industriels déposent des brevets d'invention concernant les boues activées. Le sieur Girault dépose un brevet curieux : il s'agit de fabriquer des boues activées nitrifiantes, un levain d'ensemencement pour les stations d'épuration en phase de démarrage, ceci afin d'éviter les longs mois nécessaires à la formation des boues nitrifiantes, Ce levain pouvant servir d'autre part à ensemer en boues activées des lits bactériens aérés artificiellement.

Le sieur Victor Lamy en **1919** propose un système de boues activées avec clarificateur incorporé (c'est le système du bassin combiné) et circulation des boues dans un tube central avec un éjecteur pneumatique pour assurer la circulation. L'aération se fait par injection d'air. L'usine de relevage de Colombes fait construire une unité «Lamy» et l'étudie dès **1921**. Cette station de petite taille, traitant environ 70 m³/j, mais aux proportions industrielles a fait l'objet de nombreuses modifications, ajustements, améliorations. Le brevet de Victor Lamy n'est accordé qu'en **1923**.

En **1921**, la station d'épuration de **Mont-Mesly**, célèbre pour ses fosses septiques et ses lits bactériens aux multiples variantes, s'équipe d'un bassin à boues activées, système « Sheffield », à aération mécanique par roues à aubes, **Lucien Cavé**, ingénieur chimiste du département de la Seine, étudie son fonctionnement épuratoire et publie les résultats en 1925. C'est la première station à échelle industrielle par boues activées en France, Elle traite 6 000 m³/j d'eau usée urbaine, Elle comporte dix-huit canaux, neuf roues à aubes, la hauteur de boues dans les canaux est de 1,3 m et le volume de l'aération, de 2000 m³ la vitesse de circulation de la boue est de l'ordre de 0,5 m/s. Cinq décanteurs rectangulaires équipés de « Clifford » en bois séparent l'eau épurée de la boue.

En **1923** à Colombes, l'entreprise SGEA, licenciée d'Activated Sludge Ltd., installe le système «Activated Sludge». Une station de démonstration fonctionne avec de l'air insufflé dans des diffuseurs poreux (plaques de béton poreux), Elle traite 400 m³ /j le recyclage des boues activées décantées se fait par « Beduwé » (éjecteur à air).

En **1925**, le Comptoir sanitaire construit à Colombes un bassin de boues activées, système « Bolton », appelé « Simplex », dont l'aération est assurée par des turbines de surface, le bassin comporte une zone de clarification séparée de la zone d'activation par une cloison siphonide. C'est un bassin combiné, la station traite 380 m³/j. Depuis les années 1925, nombreuses villes commençaient à construire leurs propres stations d'épuration à boues activées à taille réelle tel que **Milwaukee- saint-Louis - detroit - Indianapolis et Houston**, en particulier **la ville de Milwaukee** était très avancée dans la construction des stations d'épuration à boues activées [3].

En **1926**, l'usine de Colombes passe au statut officiel de Centre expérimental, avec mission de traiter 50 000 m³/j, et s'équipe d'un laboratoire d'analyses spécialisées des eaux d'égout et construit plusieurs types d'ouvrage à boues activées aux fins d'études comparatives.

En **1930**, de même qu'aux **États Unis d'Amérique**, en **Grande Bretagne, Allemagne, Russie**, la question du prétraitement des eaux brutes par contact rapide avec des boues activées aérées, suivi d'une décantation expéditive est à l'ordre du jour. Mais l'histoire ne s'arrête pas là,

Cette station de Mont-Mesly, ou usine comme l'on dit maintenant, où se côtoyaient, en toute amitié, lits bactériens à asperseurs et boues activées, auxquelles la houle générée par les roues à aubes conférait une élégance encore inégalée, a aujourd'hui disparu. À quelques encablures, à **Valenton**, une nouvelle usine a pris le relais, mettant en œuvre des « cultures libres », assurant même la déphosphatation biologique. L'histoire de l'épuration n'échappe pas à la règle de l'évolution des techniques et elle s'est poursuivie notamment à **Colombes** où les ingénieurs se sont succédé, Comme aux **États-Unis**, comme en **Grande-Bretagne** ou ailleurs, ils n'ont pas hésité à réutiliser d'anciens bassins, à les modifier pour y adapter de nouveaux procédés à l'échelle semi-industrielle. Des pilotes de plusieurs milliers de mètres cubes de capacité de traitement par jour ont ainsi été mis en œuvre, expérimentés avant d'être sélectionnés pour équiper la grande station d'Achères, aujourd'hui usine Seine aval.

Au début des années **1980**, sous l'égide du Siaap, le Centre expérimental de la ville de Paris à Colombes devient le Centre de recherche interdépartemental pour le traitement des eaux résiduaires (Criter). C'est alors un pilote de 2500m³/j de la station de Valenton qui y voit le jour dans une ancienne fosse « Imhoff » dont la profondeur permet d'évaluer les conditions d'insufflation d'air à plus de 9 mètres. Dans le même temps, des pilotes semi-industriels de nouveaux procédés par cultures fixées sont créés dans d'anciens débourbeurs; des décanteurs lamellaires sont testés. Ces procédés ayant démontré leur capacité sonnent le glas de ce véritable musée de l'épuration où de nombreuses générations de procédés se disputent alors les faveurs des ingénieurs. C'est sur l'emplacement du Centre expérimental, Criter pour les plus jeunes, qu'est construite dès **1994** l'usine Seine Centre à Colombes, avec sa décantation lamellaire, ses bio-filtres à cultures fixées, dernière évolution des lits bactériens aérés, les précurseurs des boues activées et peut-être leurs successeurs. Finalement, ce sont toujours les bactéries qui gagnent.

- **Conclusion :**

L'idée de la mise en place des stations d'épuration des eaux usées ne date pas d'aujourd'hui ,mais est apparue depuis l'Antiquité, où l'homme a recherché, développé et trouvé de nombreuses méthodes de traitement des eaux usées. Le traitement des eaux usées à l'aide du procédé biologique à boues activées est l'une des plus importantes de ces méthodes, qui a été créée en 1914 et s'est largement répandue à la fin des années trente du XXe siècle et est toujours considérée comme l'une des méthodes de traitement biologique approuvées et les plus efficaces.

Partie 2

L'épuration des eaux usées par boues activées

Introduction :

L'épuration des eaux usées constitue une étape très importante avant de rejeter ces derniers dans le milieu naturel, afin de protéger l'environnement et préserver la planète. L'opération d'épuration des eaux usées rejetées par les différents types d'établissements est réalisée par les stations d'épurations suivant plusieurs procédés. Le processus d'épuration des eaux usées permet le rejet des effluents tout en répondant aux exigences imposées par des réglementations.

1.2) La pollution des eaux :

1.2.1) définition de la pollution des eaux :

La pollution de l'eau est définie comme tout changement direct ou indirect de la composition physique et chimique de l'eau.

Autrement dit c'est l'impact négatif sur l'eau en modifiant sa qualité et sa validité à la suite de la modification de sa composition.

Selon le conseil de la qualité de l'environnement de la maison blanche, « la pollution est une modification défavorable du milieu naturel qui apparait en totalité ou en partie comme un sous-produit de l'action humaine à travers des effets directes ou indirectes altérant les critères de répartition des flux de l'énergie, de la constitution physico-chimique du milieu et d'abondance des espèces vivants ». [6]

La pollution de l'eau est l'un des risques les plus importants qui menacent la vie environnementale ainsi que la vie humaine, elle a deux sources :

- Une source naturelle : issue des déchets d'organismes vivants.
- une source humaine: issue de diverses activités pratiquées par l'homme et est la plus répandue.

1.2.3) Les Paramètres caractéristiques les eaux usées :

1.2.3.1) Les Paramètres physico-chimiques :

a) La température T :

La température est un des facteurs physiques les plus importants. Elle diffère de la température de l'eau ordinaire d'environ 10 à 20 degrés Celsius. La température affecte l'eau de plusieurs manières car celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et des gaz, La solubilité des gaz dans les eaux usées diminue avec l'augmentation de la Température, dans la détermination du pH et nous permet de connaître l'origine de l'eau et des mélanges éventuels, etc. [7]

b) Le Potentiel Hydrique (pH) :

Le pH est un paramètre qui permet de mesurer l'alcalinité ou la basicité d'une eau [8].

Le pH des eaux usées domestiques est généralement autour d'une neutralité de 6,7 et 7, 2 [9]

Il est indispensable de mesurer le potentiel hydrique des eaux usées car il existe certaines opérations de traitement qui demandent un PH spécifié pour mieux fonctionner.

c) La Conductivité électrique (CE) :

La Conductivité électrique est une mesure faite par une électrode afin de pouvoir donner la valeur de la concentration totale en sels dissous en micro-siémen par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

d) la Turbidité :

La turbidité est un indice qui désigne la transparence d'une eau, eau turbide est un eau non transparente. Ce paramètre peut être distingué à l'œil nu, plus que la turbidité est élevée plus que l'eau a une grande teneur en matières en suspension fines, comme les argiles, les limons, les grains de silice et les micro-organismes et également en matières colloïdales.

Tableau II.1 : Classes de turbidité usuelles (NTU). (BERNE.F et CORDONNIER.J, 1991).

NTU < 5	Eau claire
5 < NTU < 30	Eau légèrement trouble
NTU > 30	Eau trouble

Les effluents se composent par des matières que l'on peut les subdiviser sous quatre formes :

- Les matières en suspension (MES).
- Les matières volatiles en suspension (MVS).
- Les matières minérales en suspension. (MMS)
- Les matières décantables et non décantables.

e) Les matières en suspension MES :

Les matières en suspension comportent des matières organiques MVS et d'autre minérales MMS. Les MES se trouvent dans un état de suspension ni solubilisées ni colloïdales. Ce paramètre est très important afin de pouvoir déterminer le degré de pollution d'effluents.

Les techniques d'analyse font appel à la séparation directe par filtration (filtres en papier, membranes filtrantes) ou par centrifugation. La teneur en matière en suspension est obtenue après séchage à 105°C d'un volume connu d'échantillon [11]

f) les matières volatiles en suspension MVS :

Elles représentent la fraction organique des matières en suspensions. Ces matières disparaissent au cours d'une combustion et sont mesurées à partir des matières en suspension (résidu à 105°C) en les calcinant dans un four à 525°C pendant 2heures(C). Les matières volatiles en suspension représentent en moyenne 70% de la teneur en MES pour les effluents domestiques.

g) Les matières minérales en suspension MMS :

Ces matières représentent la fraction minérale des matières en suspension, Elles représentent donc le résidu de la calcination, et correspondent à la présence de sels, silice, poussières par exemple.

h) Les matières décantables et non décantables :

On peut classer les matières comme étant des matières décantables si elles peuvent se décarter en un temps donné (2heures) en utilisant le cône d'IMHOFF, ou l'éprouvette cylindro-conique du docteur Coin.

1.2.3.2) les Paramètres organoleptiques :

a) la couleur :

La couleur des eaux résiduaires est en général grise, signe de présence de matières organiques dissoutes, de matières en suspension, du fer ferrique précipitant à l'état d'hydroxyde colloïdal, du fer ferreux lié à des complexes organiques et de divers colloïdes [13].

b) L'Odeur :

L'eau usée se caractérise par une odeur de moisi. Toute odeur est signe de pollution due à la présence de matières organiques en décomposition [12].

1.2.3.3) les Paramètres chimiques :

a) Les Demandes en Oxygène :

a.1) Demande Biochimique en Oxygène (DBO₅) :

La DBO₅ c'est la consommation d'oxygène à 20°C et dans l'obscurité d'un échantillon préalablement ensemencé pendant cinq jours, temps qui assure l'oxydation biologique d'une fraction des matières organiques carbonées [10].

La DBO₅ représente la quantité d'O₂ nécessaire pour la décomposition de la matière organique par des micro-organismes par voie aérobie exprimée en mg O₂/l.

Une loi empirique a été établie pour calculer la DBO [32]

$$DBO_t = DBO_{ultime} (1 - e^{-Kt})$$

Avec :

DBO_t : quantité d'oxygène consommée ou DBO exercée au temps t

DBO_{ultime} : quantité d'oxygène consommée par la réaction, limitée à l'oxydation carbonée.

K : constante cinétique moyenne, pour les eaux usées sa valeur est de l'ordre de 0,2 J⁻¹

a.2) Demande chimique en Oxygène (DCO) :

La DCO représente la quantité d'O₂ nécessaire pour l'oxydation de la matière organique par un oxydant (le bichromate de potassium). Elle est exprimée en mg O₂/l.

Sachant que la DBO_{ultime} concerne 90% environ de la DCO donc on aura une relation entre la BDO et la DCO suivante : [33]

$$DCO = \frac{DBO_{ultime}}{0,9}$$

<i>Valeur de la DCO</i>	<i>Origine des eaux</i>
DCO = 1,5 à 2 fois DBO	Les eaux usées urbaines
DCO = 1 à 10 fois DBO	L'ensemble des eaux résiduaires
DCO > 2,5 fois DBO	Les eaux usées industrielles

Tableau II.2 : Valeur de la DCO selon l'origine des eaux (METAHRI.MS, 2012).

Le rapport $\frac{DCO}{DBO_5}$ est utilisé comme index de biodégradabilité des eaux usées on distingue trois cas cités dans le tableau suivant :

Tableau II.3: les caractéristiques des eaux selon le rapport $\frac{DCO}{DBO_5}$

$\frac{DCO}{DBO_5}$	<i>Caractéristiques de l'eau</i>
$\frac{DCO}{DBO_5} < 2$	Facilement biodégradable donc on peut envisager un traitement biologique
$2 < \frac{DCO}{DBO_5} < 3$	L'effluent biodégradable à condition de mettre en place un traitement adéquat (on ajoute des bactéries)
$\frac{DCO}{DBO_5} > 3$	Non biodégradable un traitement physico-chimique s'impose

a.3) Carbone organique total C.O.T :

Il représente la quantité d'oxygène liée à la matière organique. La mesure du COT est déterminée après faire passer la matière organique carbonée d'un effluent au four à 950°C sous un courant d'oxygène. Cette combustion libère du gaz carbonique qui est dosé par un analyseur infra-rouge, dont la réponse obtenue est proportionnelle à la quantité de carbone organique présent.

b) les nutriments

b.1) L'azote N :

L'azote est un élément chimique et l'un des composants nutritifs des effluents, il peut avoir un caractère organique ou minéral, il se présente sous quatre formes. [34]

b.1.2) L'azote organique : se transforme en azote ammoniacal.

b.1.3) L'azote ammoniacal (NH_4^+) : traduit un processus d'ammonification de la matière organique azotée. Les ions ammoniums subissent une nitrification par action des bactéries nitrifiantes.

b.1.4) L'azote nitreux (NO_2^-) : provient d'une oxydation incomplète de l'azote ammoniacal ou par une réduction des nitrates par dénitrification. Les nitrites sont instables et sont rapidement transformés en nitrate.

b.1.5) L'azote nitrique (NO_3^-) : est produit par nitrification de l'azote ammoniacal. Il joue un rôle important dans le développement des algues et participe au phénomène d'eutrophisation.

Dans les eaux usées, l'azote se trouve principalement sous forme ammoniacale.

Remarque : pour qu'une eau usée soit biodégradable ou traitable par la voie biologique

On doit avoir les rapports suivants :

$$\frac{DBO_5}{\text{Azote}} = \frac{100}{5} \quad \text{ou} \quad \frac{DCO}{\text{Azote}} = \frac{250}{7}$$

$$\frac{\text{Phosphore}}{\text{Phosphore}} = \frac{1}{1}$$

b.2) phosphore P :

Le phosphore est un élément chimique présent dans les eaux usées grâce à le métabolisme humain et les détergents. Le phosphore peut se rencontrer sous forme de sels minéraux (ortho phosphate (PO_4^{3-}), poly phosphates), mais aussi sous forme de composés organiques solubilisés ou à l'état de matières en suspension [14].

Les composés phosphorés et azotés ont une grande importance, mais les rejets excessifs de ces éléments conduit à l'apparition du phénomène de l'eutrophisation des cours d'eau. Ce phénomène se caractérise par la prolifération d'algues et la diminution de l'oxygène dissous, ce qui appauvrit la faune et flore des eaux superficielles(cours d'eau, lacs...)[15].

I.2.3.4) Paramètres biologiques :

La pollution biologique des eaux est due à la présence des microorganismes pathogènes, ils peuvent être soit :

a) Les bactéries pathogènes :

Les bactéries sont des organismes unicellulaires microscopiques vivent partout dans le monde, on dit qu'elles sont pathogènes lorsque elles provoquent des maladies. Les bactéries sont classées de différentes manières : Noms scientifiques – Coloration-formes (sphérique, cylindriques, incurvées...)- Besoin en oxygène - Caractéristiques génétiques. [5]

b) Les virus :

Les virus sont un des sources de la pollution biologique liée aux eaux, on peut distinguer des différents types des virus (les norovirus, le virus de l'hépatite A (VHA), le virus de l'hépatite E (VHE), les rotavirus et les entérovirus).

c) les parasites :

Les parasites sont des microorganismes considérés comme une source de pollution des eaux. Ces éléments présents dans l'eau de manière significative on peut distinguer les parasites protozoaires, tels Giardia et Cryptosporidium.

d) Les champignons :

Les Champignons sont des Végétaux inférieurs dits Thallophytes, dont l'appareil végétatif, relativement rudimentaire, n'est pas différencié en véritable s tissus. Ils sont dépourvu s de chlorophylle, ils sont hétérotrophes, n'ont pas besoin de lumière et vivent soit sur les matières organique s en décomposition provenant de s cadavre s ou des déjections des êtres vivants (Champignon s saprophytes), soit en parasite s sur ou dans les corps des Animaux ou des Végétaux (Champignon s parasites).

I.3) Les normes de rejet :

I.3.1) Normes OMS :

Dans le but de protéger le milieu récepteur, l'organisation mondiale de la santé (O.M.S) fixe des niveaux de rejet qu'ils sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau II.4 : Valeurs limites des paramètres de rejets suivant l'OMS.

PARAMETRES	VALEURS
DBO ₅ (mg/l)	30
DCO (mg /l)	90
MES (mg/l)	30
Température (c°)	30
Azote (mg /l)	40-50
Détergeant (mg /l)	01
Phosphate (mg /l)	02
Huiles (mg /l)	20

I.3.2) Les normes algériennes de rejet des effluents :

Le décret exécutif n°93-160 du 10 juillet 1993, du Journal Officiel de la République Algérienne réglementant les rejets d'effluents liquides dans son chapitre I, article 2. Ces mêmes valeurs viennent d'être renforcées par un nouveau texte réglementaire ; le Décret exécutif n° 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 Avril 2006, section (1), article 3.les valeurs limites maximale s des rejets d'effluents fixés par ces deux décrets sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau II.5 : Valeurs limite des paramètres de rejets dans un milieu récepteur (JORAD, 2006).

Paramètres	Valeur limites	Unités
Température	30	°C
pH	6,5 à 8,5 -	
MES	35	mg/l
DBO5	35	mg/l
DCO	120	mg/l
Azote Kjedadhl	30	mg/l

<i>Phosphates</i>	02	mg/l
<i>Phosphore total</i>	10	mg/l
<i>Cyanure</i>	0,1	mg/L
<i>Aluminium</i>	03	mg/l
<i>Cadmium</i>	0,2	mg/l
<i>Fer</i>	03	mg/l
<i>Manganèse</i>	01	mg/l
<i>Mercure total</i>	0,01	mg/l
<i>Nickel total</i>	0,5	mg/l
<i>Plomb total</i>	0,5	mg/l
<i>Cuivre total</i>	0,5	mg/l
<i>Zinc total</i>	03	mg/l
<i>Huiles et Grasses</i>	20	mg/l
<i>Hydrocarbures totaux</i>	10	mg/l
<i>Indice phénols</i>	0,3	mg/l
<i>Fluor et composés</i>	15	mg/l
<i>Etain total</i>	02	mg/l
<i>Composés organiques chlorés</i>	05	mg/l
<i>Chromes total</i>	0.5	mg/l

II.1) L'épuration des eaux usées :

II.1.1) Définition :

L'épuration des eaux c'est l'action de la dépollution des eaux usées, autrement dit c'est l'ensemble des techniques et des opérations ayant pour l'objectif l'élimination des impuretés dans les eaux rejetées, et par la suite permet de réduire les dommages causées par les effluents.

L'épuration consiste à éliminer les plus gros débris organiques ou minéraux, retirer les MES de densité différente de l'eau tels que les grains de sables et les particules minérales, et aussi à éliminer les pollutions résiduelles qui pourraient être gênantes en aval (germes pathogènes, azote, phosphore...). [17]

II.1.2) L'implantation d'une station d'épuration :

Avant l'implantation de la station d'épuration des eaux usées, le choix du site d'emplacement de cette installation doit être répondre aux règles suivantes :

- ✓ Éviter les zones instables.
- ✓ Éviter les zones inondables.
- ✓ Éviter les contre pentes.
- ✓ Rapprocher la station du déversoir d'orage.
- ✓ Respecter une distance minimale avec un aéroport de 30 kilomètres.
- ✓ Éviter les propriétés privées et les stations balnéaires.
- ✓ Prévoir une verdure autour de la station d'épuration.
- ✓ Éloigner le site de la STEP de la zone urbaine.
- ✓ Rapprocher le site d'un point de rejet.

II.1.3) Choix d'une technologie de l'épuration :

Après avoir choisi l'emplacement de la station d'épuration, on passe au choix du procédé de traitement des eaux usées.

Parmi les critères qui doivent être pris en considération pour le choix du procédé d'épuration des eaux usées :

- Les conditions climatiques telles que la température, l'évaporation et les vents etc...
- Le degré d'épuration des eaux.
- Les exigences de rejet vers le milieu récepteur.
- Le cout d'exécution du projet.
- La nature des eaux usées à traiter.
- La disponibilité du lieu d'implantation de la STEP.

II.1.4) Les procédés d'épurations biologiques des eaux usées :

Les stations de traitement des eaux usées diffèrent selon le procédé biologique utilisé, on peut distinguer :

II.1.4.1) Les procédés extensifs :

- Le lagunage naturel ou aéré, Lagunage à macrophyte, Systèmes mixtes.
- Infiltration-percolation
- Filtre planté à écoulement vertical, Filtre planté à écoulement horizontal
- L'épandage des eaux.

II.1.4.2) Les procédés intensifs :

- Les boues activées.
- Le lagunage artificiel.
- Les lits bactériens.
- Les disques biologiques.

II.2) L'épuration des eaux usées par boues activées :

Le procédé d'épuration des eaux usées par boues activées est l'un des procédés intensifs le plus utilisé, ce procédé dépollution des effluents peut considérer comme une extension artificielle des phénomènes de dépollution naturelle.

Le procédé à boues activées est un système qui permet la dégradation de la matière organique polluante, suit à l'activité des microorganismes existant dans l'effluent.

II.2.1) Les étapes d'épuration des eaux usées :

a) Le prétraitement :

C'est un processus physique et première étape du traitement des eaux, le but de ces installations est d'éliminer les déchets volumineux, les sables et gravie, les huiles et les graisse qui vont capables d'endommager les équipements ultérieures. Il s'agit du dégrilleur, du déssableur et du dégraisseur.

a.1) dégrillage :

Les dégrilleur sont pour objectif d'empêcher l'entrée des déchets de grand volume afin d'éviter le problème de colmatage des installations ultérieurs Une grande diversité de grilles est disponible sur le marché (droite, courbe,...). Il existe deux types de dégrillage, le dégrillage grossier qui est caractérisée par un espacement de grilles plus grand à celles de dégrillage fin. [35]

- Grilles grossières: un espacement entre barreaux de 60 à 100mm.
- Grilles fines: un espacement entre barreaux de 10 à 25mm.



FigureII.1 : dégrilleur

a.2) dessablage-déshuilage :

L'étape de dessablage et déshuilage se fait dans le même bassin. Le dessablage a pour but d'éliminer les sables, les graviers, et les matières minérales, toutes ces matières sont extraites à l'aide d'une pompe suceuse au fond du bassin.

L'étape de déshuilage permet l'extraction des graisses soit par flottation naturelle ou accélérée par injection de fines bulles d'air, puis ils ont récupéré en utilisant des racleurs de surface.



Figure II.2 : *déssableur-déshuileur*

b) Traitement primaire :

Après le prétraitement ces eaux usées restent porter des éléments organiques et minérales susceptible de décanter. La décantation permet la séparation de fluide et les matières en suspension dans un ouvrage de décantation primaire.

b.1) Types de décantation :

Parmi les différents types de décantation :

- ❖ **Décantation statique** : la décantation statique consiste en une décantation de matières solides existantes dans les effluents sous l'effet de son propre poids (l'effet de la pesanteur).
- ❖ **Décantation lamellaire** : Des lamelles parallèle inclinées sont placées dans l'ouvrage de décantation, permettent d'augmenter le rendement de la décantation par l'accroissement de la surface de décantation.

Le processus de décantation classique parmi d'éliminer un pourcentage de 50% à 65% des matières en suspension, et un pourcentage de 20% à 35% pour le DBO éliminé.



Figure II.3 : décanteur

Parmi les différents types de décanteur classique, il y'a le décanteur horizontal avec raclage des boues, décanteur cylindro-conique ordinaire, et le décanteur circulaire avec raclage des boues.

C) Les Traitements secondaires :

C.1) Traitement biologique :

Le traitement biologique c'est un procédé qui se permet d'éliminer la matière organique polluante qui se trouve dans les effluents par l'activité des microorganismes. Le milieu est riche en éléments azotés et en phosphore et en plus en oligo-éléments, en injectant l'oxygène, les bactéries commencent à se développée et à former des masses floconneuses.

C.1.1) Les phases d'évolution d'une culture bactérienne :

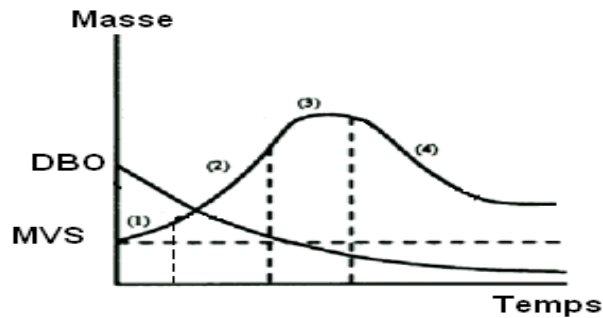


Figure II.4 : Développement d'une culture bactérienne.

L'évolution de la DBO et de la masse bactérienne en fonction du temps d'aération se fait suivant quatre phases :

- **Phase 1 (Phase de latence):**

La phase de latence c'est la phase caractérisée par une faible vitesse ou une vitesse de croissance presque nulle, c'est la phase d'adaptation des bactéries au milieu nutritif.

- **Phase 2 (Phase de croissance exponentielle):**

Après s'être adapté au milieu nutritif, la masse bactérienne a la tendance à se développer rapidement, résultant une diminution de la DBO, l'augmentation de la quantité d'oxygène consommée. C'est la phase de synthèse cellulaire et de métabolisme de la flore bactérienne, c'est la phase la plus active.

- **Phase 3 (Phase de croissance ralentie):**

Après la phase de croissance exponentielle, la phase de croissance ralentie se traduit, ce ralentissement de la masse bactérienne est dû à l'insuffisance de la nourriture.

- **Phase 4 (Phase endogène) :**

La phase endogène c'est la phase finale caractérisée par une décroissance de l'activité des cultures bactériennes (la mort de nombreux micro-organismes) dû à un manque aux éléments de nourriture. La quantité d'oxygène consommée par les bactéries est utilisée pour les transférer en produits finaux.



Figure II.5 : bassin biologique (source STEP-Ain Témouchent).

C.1.2) Nitrification-dénitrification :

La nitrification et la dénitrification sont deux processus biologique du traitement des eaux, ont pour l'objectif d'éliminer l'azote des eaux usées.

Dans une station d'épuration, il existe plusieurs formes d'azote :

- ❖ Nitrites et nitrates: l'azote oxydé
- ❖ les formes non oxydées: l'azote Kjeldhal comprenant l'azote organique et l'azote ammoniacal (NH_4^+)
- ❖ L'azote organique ammonifiable
- ❖ L'azote organique réfractaire.

C.1.2.1) Nitrification :

Le mécanisme de la nitrification est une phase aérobie ou la présence d'oxygène est indispensable et se fait suivant deux étapes, premièrement la nitritation qui consiste à transformer l'ammoniac en nitrite par oxydation, en deuxième étape la nitratisation qui permet l'évolution du nitrite (NO_2^-) en nitrate (NO_3^-). Les micro-organismes responsables de la nitrification sont les Nitrosomonas et Nitrobacter. Cependant, une alimentation en oxygène suffisante et un apport C/P/N favorable sont également indispensables.[24]

Dans le but une meilleure nitrification il faut :

- ✓ De l'ammoniac
- ✓ Une température d'au moins 12°C
- ✓ Une alcalinité naturelle suffisante dans l'eau brute
- ✓ Alimentation en oxygène suffisante.
- ✓ Suffisamment de bactéries nitrifiantes
- ✓ Un pH entre 7,2 et 8,5.

C.1.2.2) Dénitrification :

La dénitrification, c'est une phase anaérobie et un processus qui suit l'étape de la nitrification et qui permet d'éliminer complètement l'azote sous sa forme gazeux N₂ et il s'évapore dans l'atmosphère. [24]

Dans la première, le nitrate est réduit en nitrite, dans la deuxième, le nitrite à son tour est réduit de nitrique à oxyde Nitreux (NO₂) ou en azote gazeux (N₂). Ce type de traitement biologique se fait par des bactéries appelées hétérotrophes.

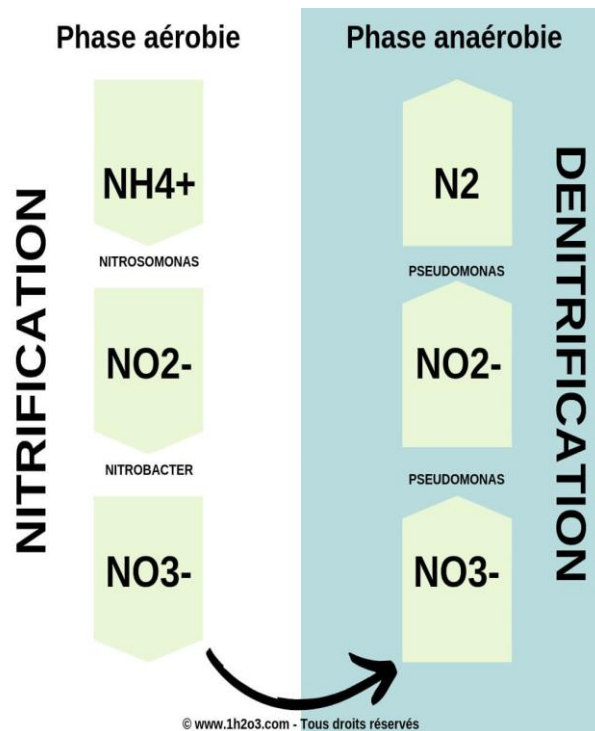


Figure II.6 : le procédé Nitrification-dénitrification

C.2) *décantation secondaire* :

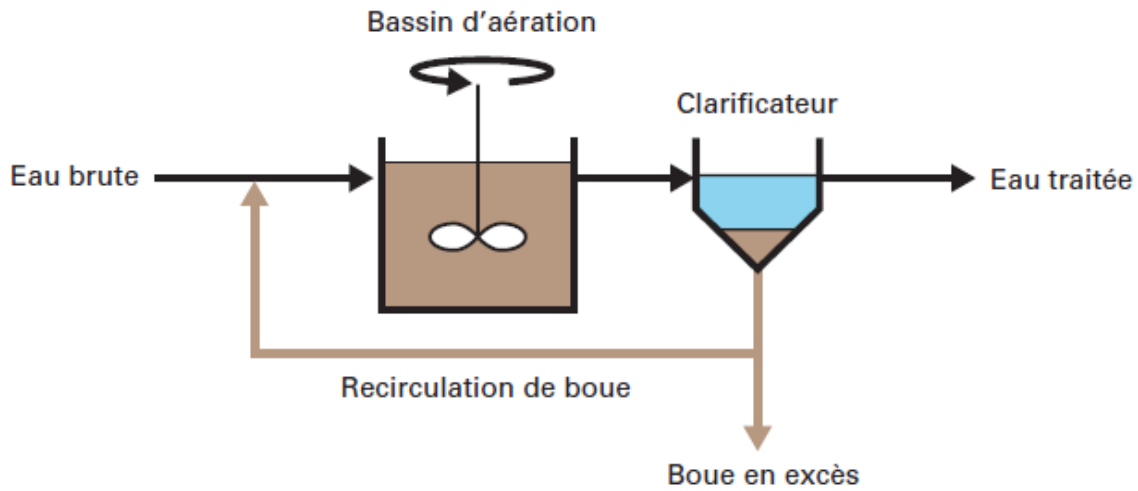
Après le processus de traitement biologique, une quantité des boues sont formées, la décantation secondaire représente l'étape de la séparation du phase liquide (eau) du boues dans un ouvrage s'appelle le clarificateur.



FigureII.7 : Exemple d'un clarificateur (source STEP-Ain Témouchent)

C.2.1) *Recyclage des boues* :

Afin de maintenir une concentration sensiblement constante en micro-organismes épurateurs dans le bassin biologique, un système d'évacuation des boues en excès est prévu, les boues sont recyclées du clarificateur vers l'ouvrage de traitement biologique.



FigureII.8 : schéma de recyclage de boues

d) Le traitement tertiaire :

d.1) La désinfection :

La désinfection c'est un procédé qui permet d'éliminer les paramètres de la pollution biologiques (bactérie virus).

d.1.1) La chloration :

La chloration représente la technique de désinfection des eaux la plus utilisée, cette technique repose sur l'injection de chlore gazeux Cl_2 ou hypochlorite de sodium $NaOCl$ ou de bioxyde de chlore ClO_2 sur une eau préalablement épurée et clarifiée. [21]

d.1.2) L'ozonation :

Ce procédé de désinfection est basé sur l'utilisation d'ozone, qui représente un élément chimique très puissant, son utilisation est très simple, il suffit d'injecter ce produit chimique dans l'eau, et la destruction des micro-organismes se commence. [22]

Les avantages d'ozonation :

- Meilleure efficacité de traitement contre les virus et les bactéries.
- La rapidité de traitement de 10 à 30 mn.
- L'inexistence d'aucune contamination bactérienne après l'ozonation.
- Permet d'augmenter la quantité d'oxygène dissout présent dans l'eau.

Les désavantages d'ozonation :

- L'importance des équipements spéciaux qui présentent une résistance à l'oxydation.
- L'ozone est un gaz très irritant et peut être toxique.
- L'ozonation est un processus couteux.

d.1.3) Le rayonnement ultraviolet :

Le principe de cette technique de désinfection des eaux est basé sur l'émission des rayonnements ultra-violets UV, par des lampes spéciales généralement en acier inoxydable, ces rayonnements possèdent une fréquence de 254 nanomètres (nm) afin de détruire les micro-organismes et les bactéries pathogènes, ce processus parmi l'élimination d'un pourcentage de 99.99% des micro-organismes, il est considéré comme un procédé simple, efficace. [22]



Figure II.9 : la sortie des eaux épurées d'après chloration (source STEP Ain-Temouchent).

d.2) Problème du phosphore :

Le rejet des eaux ont une forte teneur en phosphore génère le phénomène d'eutrophisation, qui affecte négativement l'écosystème et qui provoque une réduction de la biodiversité. [23]

Dans le but d'élimination de la quantité de la matière phosphorée qui se trouve dans les eaux clarifiées, on se base sur les deux processus, la coagulation et la floculation.

- ✚ La coagulation : c'est un procédé de traitement des eaux usées, favorise la déstabilisation et le déséquilibre des particules colloïdales par l'ajout d'un coagulant (le sulfate d'alumine, le chlorure ferrique, le sulfate ferreux et le chlorosulfate de fer).
- ✚ La floculation : c'est l'étape qui suit la coagulation, et qui permet d'agglomérer les particules colloïdales déstabilisé à l'aide d'un floculant des polymères synthétiques de haut poids moléculaire.

E) Le traitement des boues :

Les boues sont des résidus concentrés contenant des matières de pollution et des produits de transformation insolubles, Une station d'épuration génère trois catégories de boues [23]

- Les boues issues de décantation primaire dans la phase de traitement primaire des eaux usées. [30]
- Les boues issues de traitement physico-chimique coagulation-floculation, ces résidus concentrés composées de matières organiques solubles ou colloïdales. [30]

- Les boues de traitement biologique formées par les bactéries. [30]

Dans le but de stabiliser les boues et empêcher leurs évolution et leurs fermentation, et réduire leur volume des procédé de traitement des boues sont imposés (la stabilisation- l'épaississement et la déshydratation).

e.1) Stabilisation :

L'effet de la stabilisation des boues c'est l'opération d'empêcher la fermentation de ces derniers. La stabilisation permet de réduire le taux de matières organiques, Afin de limiter leur fermentation, plusieurs procédés sont utilisés

e.1.1) Les techniques de la stabilisation es boues :

- **e.1.1.1) Stabilisation physique :** ce type de stabilisation se fait d'une manière physique sans injection des produits chimiques, le séchage de la boue empêche tout développement microbien.
- **e.1.1.2) Stabilisation chimique :** La stabilisation chimique se fait Par rajout de matières chimiques.
- **e.1.1.3) Stabilisation biologique :** cette opération se fait suivant deux voies, la mise en place des boues dans un milieu anaérobie, la stabilisation se produit par l'incinération du biogaz, et par une voie aérobie d'une même manière à celui du fonctionnement des boues activées.

e.2) Épaississement :

Dans cette étape de traitement des épaisseurs sont utilisés pour la réduction du volume des boues par deux manières, soit par décantation ou par flottation. Il présente divers avantages :[30]

- la réduction de teneur des effluents en matières organique.[30]
- Augmentation de l'efficacité de la déshydratation et de séchage.
- évite tout risque de fermentation des boues.



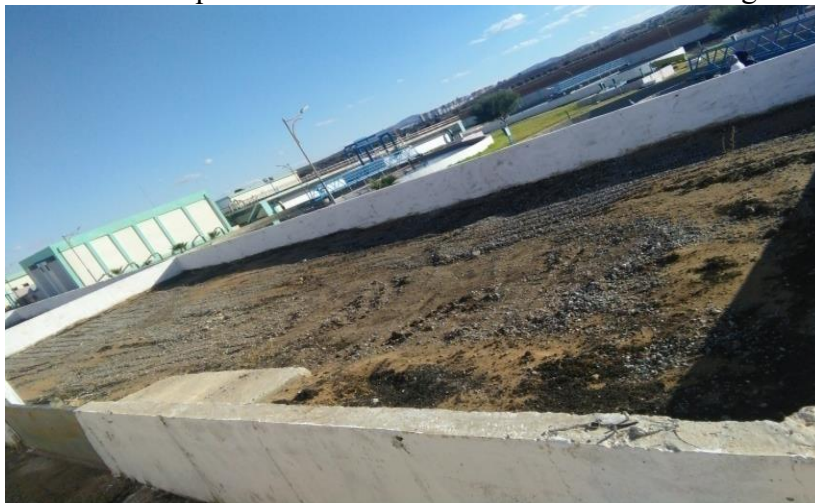
FigureII.10 : épaisseur (source la STEP Ain-Temouchent).

e.3) La déshydratation mécanique :

La déshydratation constitue la seconde étape du traitement qui permet de diminuer la teneur en eau des boues.

e.3.1) La déshydratation par lits de séchage :

Ce procédé de traitement des boues est utilisé pour les petites stations, permet de sécher les boues par l'intermédiaire des lits de séchage. La durée de séchage est normalement d'environ 4-6 semaines, mais elle peut atteindre 3-4 mois dans des conditions météorologiques défavorables. Pour des raisons d'hygiène dictées par l'environnement, le séchage sur lit n'est retenu que sur des boues bien stabilisées et non dégradables.



FigureII.11 : lit de séchage (source STEP Ain-Temouchent).

e.3.2) Bande presseuse :

La technique de la déshydratation se fait sur des filtres à bandes presseuses classiques. Ce type de traitement est plus utilisé dans les moyennes et grandes stations d'épuration urbaines.



FigureII.12 : Boues en la sortie d'un filtre à bandes (source STEP Ain-Temouchent).

F) L'évacuation des boues :

Les boues constituent donc une source naturelle et renouvelable d'éléments nutritifs nécessaires à la croissance des plantes comme l'azote, le phosphore, le potassium, ainsi que des minéraux et oligo-éléments tels que le soufre, le calcium, le zinc ou le cuivre.

Après avoir traitées les boues dans de la station d'épuration des eaux usées, ces derniers peuvent être destinés soit pour la valorisation en agriculture, l'incinération, la production du biogaz ou bien la mise à la décharge

F.1) La valorisation des boues en agriculture :

Le fait que les boues contiennent des éléments nutritifs comme l'azote, le phosphore, le potassium, ainsi que des minéraux et oligo-éléments tels que le soufre, le calcium, le zinc ou le cuivre, ce qui les rend très importantes pour l'accroissance des organismes végétaux. Ce type de valorisation représente un pourcentage d'utilisation de 73% des boues. Elles peuvent être transformées en engrais ou compost pour l'épandage. [24]



FigureII.13 : L'épandage agricole des boues d'épuration.

F.2) L'incinération :

L'incinération c'est une technique d'évacuation des boues employée dans le cas où la valorisation en agricole ou production du biogaz sont pas possible. L'incinération consiste à bruler les boues sous une température de 1450 C° dans un ouvrage de combustion. [25]



FigureII.14 : l'ouvrage d'incinération

F.3) La méthanisation :

Cette technique consiste à la production de gaz carbonique et de méthane, par la mise des boues dans un endroit clos (anaérobie / absence d'oxygène).



FigureII.15 : l'ouvrage de la méthanisation.

F.4) La mise en décharge :

Les boues sont destinées à la décharge dans le cas où les autres types de valorisations sont non faisables.

G) La réutilisation des eaux usées :

La réutilisation des eaux épurées représente une voie très importante, afin de pouvoir fournir des quantités supplémentaires d'eau de bonne qualité et d'assurer l'équilibre écologique. Selon les exigences de qualité des eaux, les eaux usées épurées peuvent être utilisées soit en agriculture comme une source d'irrigation des cultures, soit dans le domaine industriel, dans la majorité des cas les eaux usées épurées d'usage industriel sont utilisées pour le processus de refroidissement, et concernant la réutilisation des eaux épurées dans le secteur les usages les plus courants sont l'irrigation d'espaces verts (parcs, golfs, terrains sportifs), l'aménagement paysager (cascades, fontaines, plans d'eau), le lavage des rues ou des véhicules et la protection contre l'incendie.[27]

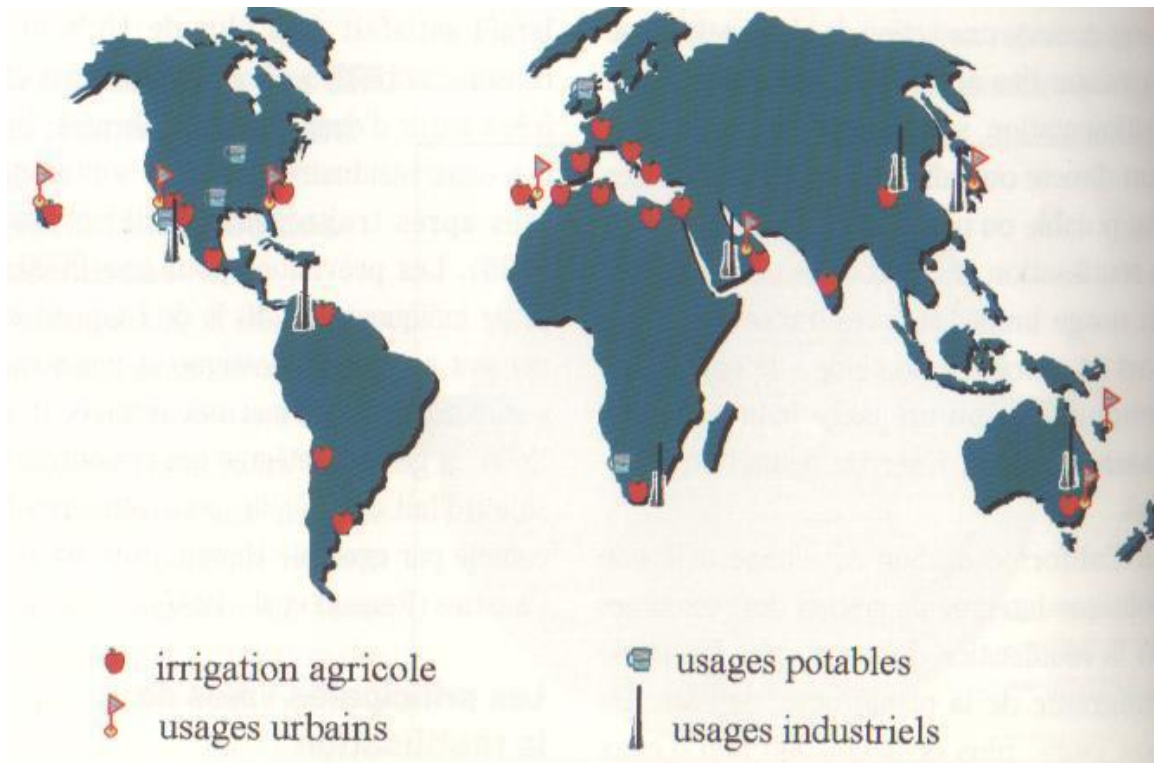


Figure II.16 : Répartition par secteur et localisation des expériences mondiales les plus importantes en réutilisation des eaux résiduaires urbaines

H) Les avantages et les inconvénients du procédé d'épuration des eaux usées par boues activées : [28]

H.1) Les avantages :

- Un bon rendement d'élimination de la pollution.
- la plus écologique et de ne pas subir les désagréments classiques des stations d'épuration telles que les odeurs et les désagréments habituels
- Meilleure protection des milieux récepteurs sensibles.

H.2) Les inconvénients :

- un cout de construction très élevé.
- Une Consommation d'énergie électrique très élevée.
- La nécessité d'une surveillance régulière.
- Un taux de production des boues à stabiliser très important.

I) Mesure des paramètres de pollution :

Dans le but de contrôler la qualité de l'eau et de vérifier le bon fonctionnement des installations de traitement, un ensemble des mesures seront fait au niveau de laboratoire de la STEP.

Tableau II.6 : Les appareils de mesure utilisés. [29]

Paramètres mesurés	Symbole	Unité	Appareils utilisés
Potentiel hydrogène	pH	/	pH mètre
Température	T	°C	Thermomètre
Conductivité	Ce	µS/cm	Conductimètre
Matière en suspension	MES	mg/l	Dispositif de filtration sous vide
Demande biologique en oxygène	DBO5	mg d'O2/l	DBO mètre
Demande chimique en oxygène	DCO	mg d'O2/l	Spectrophotomètre
Azote	N	mg/l	Spectrophotomètre
Phosphore	P	mg/l	Spectrophotomètre
V30	V30	ml/l	Éprouvette graduée
Matière en suspension	MES	mg/l	Centrifugeuse
Matière sèche	MS	%	Étuve
Matière volatile sèche	MVS	%	Four à moufle

Conclusion :

Dans cette partie nous avons parlé sur le procédé d'épuration des eaux usées par boues activées, leur étapes de traitement, De l'étape d'entrer d'eau dans la station jusqu'à sa sortie. Nous avons essayé de présenter les avantages de ce procédé à boues activées et ses inconvénients.

Partie 03

Exemples et résultats de recherche

Introduction :

Le procédé d'épuration des eaux usées par boues activées représente la technique la plus utilisée dans le domaine de traitement des eaux, elle est considérée comme étant une technique très répandue dans le monde. L'Algérie s'est dotée d'un riche schéma d'assainissement, elle compte actuellement 171 stations d'épuration mises en service, 64% d'entre elles sont des stations d'épuration des effluents par boues activées. Cette partie vise à donner une idée générale sur les applications du procédé biologique par boues activées.

III.1. Exemples et résultats des études sur lagunage :

III.1.1. Etude de Fonctionnement de la station d'Épuration à boues activées de la ville d'Ain El Beida :

III.1.1.1) La Situation géographique de la ville d'Ain El Beida :

La ville d'Ain Beida est située au nord-est de l'Algérie à 110 km à l'ouest de la ville d'Oum El Bouaghi sur les hauts plateaux des Sebkas (1000m d'altitudes). La station (STEP Ain Beida) de traitement des eaux municipales de la ville d'Ain El Beida est située à 3 Km au nord-ouest de la ville avec une altitude est de 930m, dont les coordonnées de localisation géographique selon le GPS sont [17]:

- 35°47'22.24"N

-7°20'27.18"E.

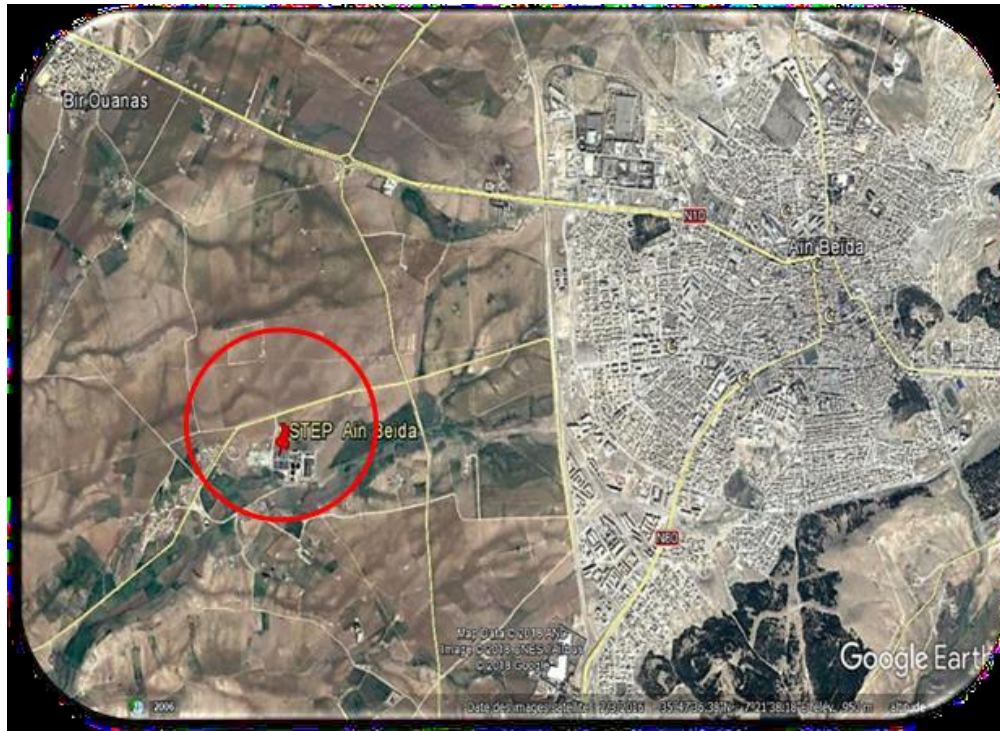


Figure III.1 : Vue de ciel de la station d'épuration d'Ain El Beida (Google Earth, 2023)

III.1.1.2) Climat :

La ville d'Aïn El Beïda présente un climat tempéré méditerranéen à l'été chaud et sec. Sur l'année, la température moyenne à d'Aïn El Beïda est de 23°C et les précipitations sont en moyenne de 145.8mm. [30]

III.1.1.3) Caractéristiques de la station :

Les caractéristiques techniques de la station d'épuration d'Aïn El Beïda (wilaya d'Oum Bouaghi) sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau III.1 : Les caractéristiques techniques de la STEP d'Aïn el Beïda. (Source STEP d'Aïn El Beïda).

<i>Type de réseau Unitaire</i>	<i>Type de réseau Unitaire</i>
<i>Nature du réseau</i>	Unitaire
<i>Population (habitants)</i>	100000
<i>Débit moyen journalier</i>	16840 m ³ /j
<i>Débit par équivalent habitant</i>	140000 E.H
<i>Débit moyen horaire</i>	702 m ³ /h
<i>Coefficient de pointe</i>	3
<i>Débit de pointe de temps pluvieux</i>	4 340 m ³ /j
<i>DBO5 (charge journalière)</i>	7 560 Kg/j
<i>Débit journalier maximum</i>	1 736 m ³ /j
<i>MES (charges journalières)</i>	9 800 Kg/j
<i>Phosphore journalière</i>	15 m ³ /j

III.1.1.4) Le Principe de fonctionnement de la STEP d'Aïn El Beïda:

Le principe du traitement adopté pour la station d'épuration d'Aïn El Beïda est celui d'une épuration biologique par boues activées à faible charge. Cette station d'épuration reçoit un débit d'eau usée de 16840 m³/j. La STEP d'Aïn El Beïda assure un rendement

d'élimination de 93% sur les matières en suspension MES et de 90% sur la demande biochimique en oxygène DBO.

Tableau III.2: Les résultats des analyses des échantillons d'eau prélevé (Source STEP d'Aïn El Beïda).

<i>Les paramètres de pollution</i>	<i>La concentration de l'effluent à l'entrée</i>	<i>La concentration de l'effluent à la sortie</i>	<i>Rendement(%)</i>
<i>DBO5 (mg/l)</i>	449	30	93%
<i>DCO (mg/l)</i>	847	80	90%
<i>MES (mg/l)</i>	582	30	94%
<i>NTK (mg/l)</i>	81	40	51%

III.1.1.5) Résultats :

Les principaux résultats sont :

- ✓ Un bon rendement d'élimination des paramètres de pollution.
- ✓ La protection du milieu récepteur (Oued el Azzabi).
- ✓ La station d'épuration des eaux usées d'Ain Beïda rejette des eaux épurées de bonne qualité ces eaux sont réutilisées pour l'irrigation des périmètres agricoles.

III.1.2. Etude de Fonctionnement de la station d'épuration à boues activées de la ville d'Ain Témouchent :

III.1.2.1) La Situation géographique de la ville d'Ain Témouchent :

La ville d'Ain Témouchent est située à l'extrémité occidentale de la haute plaine du sahel oranais, dont le fond en cuvette est occupé par la grande sebkha d'Oran , se trouve à 81 km au sud-ouest d'Oran et à 504 km à l'ouest d'Alger , La station est située à la sortie de la ville d'Ain Témouchent et implanté sur la route de TERGA. [31]



Figure III.2 : Vue aérienne de la station d'épuration d'Ain Témouchent(Google Earth, 2023)

III.1.2.2) Climat :

La ville d'Ain Témouchent présente un climat semi-aride sec et froid, dont la température moyenne annuelle est de 19.7°C et les précipitations sont en moyenne de 672.3mm et un pourcentage d'humidité de 97%.

III.1.2.3) Caractéristiques de la STEP d'Ain Témouchent :

Les caractéristiques techniques de la station d'épuration d'Ain Témouchent sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau III.3 : Les caractéristiques techniques de la STEP d'Ain Témouchent. [31]

Valeurs à l'entrée du traitement			
Paramètres	UNITES	2015	2030
<i>Nature du réseau</i>		Unitaire	Unitaire
<i>Nombre d'habitant</i>		72800	90000
<i>Nombre d'équivalent habitant</i>	E.H	82000	119000
<i>Débit moyen des eaux usées</i>	m3/j	10920	13500
<i>Débit moyen horaire</i>	m3/h	455	562,5
<i>Débit de pointe de temps pluvieux</i>	m3/h	1365	1687,5
<i>Phosphore journalière</i>	kg/j	436	540
<i>Coefficient de Pointe</i>		3	3
<i>Dotation D.B.O.5</i>	g/EH/j	50	50
<i>D.B.O.5 journalière</i>	kg/j	3640	4500
<i>Dotation D.CO</i>	g/EH/j	90	90
<i>D.C.O journalière</i>	kg/j	6552	8100
<i>Dotation T.K.N</i>		12	12
<i>M.E.S journalière</i>	kg/j	873	1080

III.1.2.4) Le Principe de fonctionnement de la STEP d'Ain Témouchent:

Le principe du traitement adopté pour la station d'épuration d'Ain Beida est celui d'une épuration biologique par boues activées à faible charge avec traitement tertiaire pour l'élimination du phosphore. La station d'épuration sera réalisée pour l'horizon 2015, elle prendra en charge les eaux usées de 72800 habitants, pour un débit d'entrée de 10.920 m3/j ce qui correspond à 82000 équivalent habitant, avec possibilité d'extension pour l'horizon 2030 à : 119000 équivalent habitants et un débit de : 13500 m3/j. [31]

Tableau III.4: Les résultats des analyses des échantillons d'eau prélevé. (Source STEP Ain Témouchent)

<i>Les paramètres de pollution</i>	<i>La concentration de l'effluent à l'entrée</i>	<i>La concentration de l'effluent à la sortie</i>	<i>Rendement (%)</i>
<i>DBO5 (mg/l)</i>	333	30	91%
<i>DCO (mg/l)</i>	600	90	85%
<i>MES (mg/l)</i>	400	30	93%
<i>NTK (mg/l)</i>	80	10	88%
<i>P (mg/l)</i>	40	2	95%

III.1.2.5) Résultats :

D'après l'étude des performances épuratrices dans la STEP d' Ain Témouchent les principaux résultats sont les suivants :

- ✓ Les valeurs de tous les paramètres de pollution trouvées à la sortie de la STEP respectent les normes de rejet.
- ✓ La STEP présente des bons résultats qui sont conforme à la norme algérienne.
- ✓ Un bon rendement d'élimination des paramètres de pollution.

Conclusion :

Bien qu'il existe plusieurs procédés biologiques de traitement des eaux usées, le procédé à boues activées peut être considéré comme étant la technique la plus adaptée à l'environnement.

Conclusion générale

Afin de protéger les milieux naturels récepteurs et de préserver la vie humaine, la vie marine, la faune et la flore, en assurant un rejet d'eau répondre aux normes de qualité et aux exigences de rejet, l'implantation des stations d'épuration des eaux usées joue un rôle très important pour garantir ces objectifs. Le choix de l'un ou l'autre procédé est fortement guidé par les conditions de réalisation.

Cependant, l'importante quantité de volume traité n'est pas le seul avantage de la technique d'épuration des eaux usées par boues activées, Le plus important est ses meilleures conditions de fonctionnement, notamment son efficacité bactériologique ce qui en fait un outil important pour la protection des ressources naturelles en eau. Le procédé de la dépollution par boues activées consiste un mode d'épuration a cultures libres, il convient pour différents taille de population.

Les eaux traitées peuvent être réutilisées pour l'agriculture ou directement rejetées dans le milieu récepteur. Si l'analyse le permet, les boues peuvent être réutilisées pour l'épandage.

Bibliographie

[1] <https://www.researchgate.net/>

[2] **Zahir BAKIRI** : *Analyse et optimisation des eaux usées urbaines par boues activées : application au décanteur secondaire, Pour l'Obtention le Grade de : DOCTORAT EN SCIENCES Option : Génie Chimique, Université Ferhat Abbas Sétif -1 Faculté de Technologie Département de Génie des Procédés*

[3] www.cieau.com

[4] seine.oieau.fr/

[5] www.msmanuals.com

[6] (Ramade, 1978)

[7] (RODIER J et al, 2005).

[8] (GOMELLA et GUEREE, 1978).

[9] (Guerrin, 1981).

[10] (BERNE.F et CORDONNIER.J, 1991).

[11] (GAID.A, 1984)

[12] (Botta et Bellon, 2001)

[13] (METAHRI.MS, 2012).

[14] (Faby et Brissaud, 1997).

[15] (LAGARDETTE MARTIN.J-L, 2004).

[16] (JORAD, 2006)

[17] **HAFSAOUI ASMA**: *Étude et Fonctionnement de la station d'épuration à boues activées de la ville d'Ain Beida et son Impact sur l'Environnement, Mémoire de fin d'étude En vue de l'obtention du Diplôme de Master académique en Écologie des milieux naturels Université Larbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi, promotion2019/2020*

[18] www.taprogge.fr/

[19] www.suezwaterhandbook.fr

[20] www.suezwaterhandbook.fr

[21] **Melle K.Djabelkhir**: *contribution à la réhabilitation de la station d'épuration de staoueli, mémoire de fin d'études En vue de l'obtention du diplôme D'ingénieur d'état en hydraulique, ENP, promotion juin 2007.*

[22] blog.durpro.com

[23] pirenseine.fr

[24] www.fnade.org

[25] **Labbaci Haytem, Boumenkar Tarek** : *Analyse des anomalies et redimensionnement de la STEP de la Wilaya de SKIKDA,MFE En vue de l'obtention du diplôme de Master en hydraulique urbaine, université badjimokhtarannaba, promotion 2018/2019.*

[26] www.ceseau.org/

[27] www.u-picardie.fr

[28] **AREZKI KATIA -LAZOUZI NABILA** : *Dimensionnement de la station d'épuration des eaux usées urbaines de la ville d'Azazga, Mémoire de fin d'étude En vue de l'obtention du Diplôme de Master académique en Hydraulique Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, promotion2019/2020*

[29] **Melle. BOUBEKKI Thinhinan. Melle. BOUDJEMA Hayat**, *Contrôle du rendement épuratoire de la station d'épuration de Baraki « ALGER », Mémoire de fin de cycle En vue d'obtention du diplôme de MASTER, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou.promotion2015/2016.p37*

[30] www.tameteo.com

[31] pmb-int.univ-temouchent.edu.dz [Aïn Témouchent à travers l'histoire, par Antoine Carrillo, Oran 1954 - p. 6.

[32] *Gestion des eaux usées urbaines et industrielles* (W.W.Eckenfelder)

[33] *Traitement des eaux usées urbaines* (Abdelkader GAID)

[34] *Guide technique de l'assainissement* (Satin Mark)

[35] *Epuration biologique des eaux* (Edeline ,F)

Document téléchargé depuis: <http://dspace.ensh.dz>