

وزارة البحث العلمي والتعليم العالي



MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم

Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCEDES

N° d'ordre : M2 /GPE/2019



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie des Procédés

Option : Génie des Procédés de l'Environnement

Thème

**Conception & Réalisation d'un Banc de Traitement des Eaux
Usées (BTEU)**

Présenté par

M^{elle} DERRAG Yassamina

Soutenu le 21/7/ 2019 devant le jury composé de :

Président :	Mr DJENNAD M'Hamed	Prof	Université de Mostaganem
Examinatrice :	Mme MOHAMED SEGHIR Zahira	MAA	Université de Mostaganem
Encadreur :	Mme KHELLADI Malika	MAA	Université de Mostaganem
Co- encadreur :	M ^f MEKHATRIA Djillali	MCB	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2018/2019

Remerciements

Merci à **ALLAH** le tout puissant pour m'avoir toujours guidé dans mes choix afin de savoir classer mes priorités.

J'exprime mes sincères remerciements à **M^r M. DJENAD**, le doyen de la faculté des Sciences et Technologies, université Abd Elhamid Ibn Badis Mostaganem, de l'honneur qu'il m'a donnée d'avoir accepté de présider le jury de notre projet.

Mes remerciements vont à **M^{me} Z. MOHAMED SEGHIR**, enseignante au département de Génies des Procédés, d'avoir acceptée d'examiner ce travail.

J'adresse mes plus sincères remerciements aux personnes qui m'ont encadrée durant cette période et de manière particulière :

Mme M. KHELLADI, enseignante à la faculté des Sciences et Technologies, université Abd Elhamid Ibn Badis Mostaganem département de Génies des Procédés, pour l'honneur qu'elle m'a fait pour avoir accepté de m'encadrer durant l'élaboration de ce travail, pour ses conseils, pour sa patience et ses orientations scientifiques qui ont été un apport pour moi.

Mr Dj. MEKHATRIA, maître de conférences à la faculté des Sciences et Technologies, université Abd Elhamid Ibn Badis Mostaganem département de Génies des Procédés, qui a contribué à la réalisation de ce projet, pour les idées techniques, pour ses conseils, pour sa disponibilité et le temps qu'il m'a consacré en dépit de sa charge pédagogique.

Mes remerciements s'adressent aussi invités qui m'ont honoré r en assistant et aussi pour l'intérêt qu'ils ont manifesté pour ce travail en l'occurrence, monsieur KHLIFI, directeur de la STEP Mostaganem et Melle BELLALIA.

Toute ma gratitude va à ma famille et de manière particulière mon père, ma mère, mon frère et toutes mes sœurs.

J'exprimer ma profonde gratitude à mes enseignants (es) qui ont fait que mon niveau soit celui d'aujourd'hui ainsi que le personnel de la faculté.

Et par peur d'oublier, mes remerciements vont aussi à mes amis (es) et tous ceux qui ont contribué de près et de loin à l'achèvement de ce travail r

... Pour tous ceux qui n'ont pas été cités ...**Merci !**

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers parents

Mes sœurs & mon frère Med El amine

Mes amis (es)

*Mes enseignants (es) & toutes mes
connaissances.*

Passamina

Sommaire

Introduction	1
Chapitre I : généralité sur l'eau	2
I.1 L'eau dans le monde	2
I.2 Ressource en eau en Algérie	2
I.3 Répartition de l'eau	3
I.3.1 Ressources en eaux conventionnelles	3
1.3.1.1 Les eaux de surfaces	3
1.3.1.2 Les eaux souterraines	4
I.3.2 Les eaux non conventionnelles	4
1.3.2.1 Le dessalement d'eau de mer	4
1.3.2.3 La réutilisation des eaux usées épurées	5
1.3.2.2 Déminéralisation des eaux saumâtres	5
I.4 L'eau en Algérie : enjeux et contraintes	5
I.5 Contexte des eaux usées	6
I.5.1 Définition des eaux usées	6
I.5.2 Origines des eaux usées	6
I.6 Les paramètres de pollution des eaux usées	7
I.6.1 Paramètres physico-chimiques	7
I.6.2 Paramètres biologiques	8
I.6.3 Éléments nutritifs	8
I.7 Impacts des eaux usées	9
I.7.1 Effet sur l'environnement	9
I.7.1 Effet sur la santé de l'homme	9

I.8 Eau traitée et agriculture	9
Chapitre II : procédés de traitement des eaux usées	12
II.1 Procédés de traitement des eaux usées	12
II.1.1 Le choix d'un procédé d'épuration	12
II.1.1. 1 Caractéristiques des eaux usées	12
II.1.1. 2 Exploitation	13
II.1.1. 3 Coûts	13
II.1.1. 4 Le site	13
II.2 Les réseaux de collecte	13
II.3 Les étapes de traitement	14
II.3.1 Le prétraitement	14
II.3.1.1 Le dégrillage	15
II.3.1.2 Le dessablage	15
II.3.1.3 Déshuilage, dégraissage	15
II.3.2 Le traitement primaire	16
II.3.2.1 La décantation	16
II.3.2.2 La flottation	17
II.3.2.3 La décantation associée à l'utilisation d'un coagulant- floculant	17
II.3.3 Le traitement secondaire	17
II.3.3.1 La clarification (décantation secondaire)	17
II.3.4 Traitement tertiaire	18
II.3.4.1 La déphosphatation	18
II.3.4.2 La désinfection	18
II.3.5 Traitement des boues	18
II.4 Généralités sur le traitement biologique des eaux usées	19

II.4.1	Principe de l'épuration biologique aérobie	19
II.4.2	La croissance bactérienne	20
II.4.3	Modélisation de la croissance bactérienne	21
II.5	Les techniques de traitement biologique	21
II.5.1	Traitement par boues activées	21
II.5.2	Traitement par lagunage	22
II.5.3	Traitement par disques biologiques	23
II.5.4	Traitement à lit fixe	24
II.5.4. 1	Principe de fonctionnement	25
II.5.4. 2	Classification des lits bactériens	25
II.5.4. 3	Paramètres de fonctionnement	27
I.6	Le cadre réglementaire	29
	Chapitre III : conception et réalisation	32
III.1	Objectif	32
III.2	Constitution du dispositif	32
III.3	Principe de fonctionnement	33
III.4	Mode opératoire	33
III.4.1	Mise en marche du dispositif	33
III.4.2	Mise à l'arrêt	34
III.5	Travaux à Pratiquer avec le BTEU	35
III.5.1	Techniques Analytiques Pratiquées après Traitement	36
III.5.1.1	Échantillonnage	36
III.5.1.2	Les paramètres à analyser	36
III.5.1.2.1	Mesure de la température (T °C)	36
III.5.1.2.2	Mesure de potentiel d'hydrogène (pH)	36
III.5.1.2.3	Mesure de turbidité	36

III.5.1.2.4	Oxygène dissout	36
III.5.1.2.5	Matière en suspension MES	37
III.5.1.2.6	Demande chimique en oxygène (DCO)	37
III.5.1.2.7	Demande biologique en oxygène en cinq jours (DBO5)	39
III.5.2	Essai du BTEU	40
	Conclusion	44
	Références bibliographique	45

Liste des figures

Figure II. 1 : étapes de traitement des eaux usées.	15
Figure II. 2 : dégraisseur fin mécanique.....	16
Figure II. 3 : dessableur-déshuileur.....	17
Figure II. 4 : décanteur.	17
Figure II. 5 : clarificateur.	18
Figure II. 6 : mécanisme de dégradation des matières azotées dans les procédés biologiques..	21
Figure II. 7 : croissance d'une culture bactérienne	22
Figure II. 8 : synoptique d'une boue activée – aération prolongée.....	23
Figure II. 9 : les mécanismes mis en jeu dans un bassin de lagunage naturel.....	24
Figure II. 10 : schéma de principe de système lagunaire	25
Figure II. 11 : synoptique d'une STEP à disque biologique	25
Figure II. 12 : schéma de principe d'un disque biologique.....	26
Figure II. 13 : schéma d'un lit bactérien	27
Figure II. 14 : exemple de matériaux de remplissage en vrac.....	28
Figure II. 15 : exemples d'un matériau de remplissage ordonné	28
Figure II. 16 : diagramme des paramètres de fonctionnement.....	30
Figure II. 17 : synoptique d'une STEP comprenant un lit bactérien.....	30
Figure III. 1 : schéma électrique du BTE.	44
Figure III. 2 : schéma pratique du BTE.....	46

Liste des tableaux

Tableau II. 1 : normes de la qualité des eaux usées brutes.....	31
Tableau II. 2 : normes des eaux épurées dans un milieu récepteur.....	32
Tableau II. 3 : normes internationales d'un rejet.	32
Tableau II. 4 : recommandations de l'OMS.....	33
Tableau III. 1 : classes de la turbidité usuelle.	39
Tableau III. 2 :valeurs typiques de DCO.....	42
Tableau III. 3 : résultats d'essai.	43

Liste des abréviations

AEP : Alimentation en Eau Potable.

MAO : Mostaganem-Arzew-Oran.

Hab. : Habitant.

MRE : Ministère des Ressources en Eau.

ONA : Office National d'Assainissement.

MES : Matières En Suspension.

MO : Matières Organiques.

pH : potentiel d'Hydrogène.

CE : Conductivité Electrique.

MMS : Matières minérales en suspension.

MVS : matières Volatiles en Suspension.

DCO : Demande Chimique en Oxygène.

DBO₅ : Demande Biologique en Oxygène pendant cinq jours.

NTK : L'azote kjeldahl.

OMS : Organisation Mondial de la Santé.

FAO : Food and Agriclture Organisation.

CET : Centre d'Enfouissement Technique.

N-org : Azote organique.

Ch : Charge hydraulique.

JO : Journal Officiel.

RPAC : Réacteur Parfaitement Agité Continu.

Introduction

L'eau, aujourd'hui, dans un contexte de forte croissance de la demande, d'augmentation de la population mondiale et d'aggravation des effets du changement climatique, est devenue l'une des plus précieuses richesses naturelles de notre planète qu'il faut traiter après usage.

La lutte contre la pollution des eaux devient la préoccupation des pays du monde entier, ce qui les oblige à développer des techniques pour dépolluer l'eau usée dont le but est la réutilisation saine des grandes quantités jetées dans la nature.

Parmi les procédés biologiques de traitement des eaux usées existe le lagunage, les bio-disques, les boues activées et les lits bactériens (bio-filtre). En Algérie le procédé le plus couramment utilisé est la boue activée, qui nécessite un investissement important, une technicité élevée et une consommation énergétique importante, ce qui impose à développer d'autres procédés alternatifs qui sont moins énergivores, faciles à construire localement sans l'intervention de mains d'œuvres étrangères et dont la gestion est simple avec un rendement épurateur élevé par rapport aux boues activées. C'est dans cette optique que nous avons proposé les lits bactériens pour le traitement des eaux usées.

Le lit bactérien est un procédé dans lequel le problème d'adhésion de la biomasse est inexistant ainsi que le problème d'aération. La seule difficulté se résume en la détermination du débit d'arrosage adéquat [1].

Le présent travail concerne la conception et la réalisation d'une mini station d'épuration des eaux usées s'appuyant sur le lit bactérien.

Pour ce faire, le présent mémoire est structuré en trois chapitres :

Le premier chapitre traite la situation de l'eau dans l'Algérie ainsi que le contexte des eaux usées.

Le second chapitre est consacré aux techniques d'épuration des eaux usées ;

Le troisième chapitre présente le dispositif réalisé, son mode d'emploi ainsi que quelques résultats d'essais.

Et en fin une conclusion et des perspectives.

Partie I :
Généralité sur
l'eau

I.1 L'eau dans le monde

L'eau constitue 70 % de la surface de la terre, ce qui correspond à **1,4 milliards de km³**. Elle est présente sous forme salée et douce.

L'eau salée représente 97,2 % de la quantité globale tandis que l'eau douce n'en représente que 2,8 %.

Les eaux douces sont réparties en :

2,15% de glace polaire.

0,63% d'eau souterraine.

0,02% d'eau de surface.

0,001% d'eau atmosphérique.

La majorité des eaux douces sont inutilisables, ce qui correspond au ¼ de celles disponibles pour que tous les habitants de la planète qui ont accès à cette source vitale.

L'utilisation des prélèvements mondiaux de l'eau douce selon les secteurs se répartie comme suit

Agriculture 70%.

Industrie 20%.

Consommation domestique 10%.

La répartition inégale de l'eau douce sur la planète a conduit à **1,1 milliards** de personnes n'ayant pas accès à l'eau salubre à cause de la pollution des ressources d'eaux. 1/3 de la population mondiale est privée d'eau [1].

L'indisponibilité, la difficulté de renouvellement des ressources à cause du changement climatique, l'inégalité de répartition et surtout la contamination des eaux par les différents types de pollution, imposent aux pays du monde de trouver et développer des techniques qui visent l'amélioration de la qualité de l'eau potable et réutiliser la quantité journalière énorme des eaux usées rejetée dans l'environnement.

I.2 Ressource en eau en Algérie

Le climat aride et semi-aride, caractérisant l'Algérie, est généralement dû à la circulation générale atmosphérique, la structure géographique du pays et sa position en latitude et en longitude ce qui influe sur la pluviosité et, par conséquent, sur le cycle hydrologique du pays et d'une manière générale sur l'environnement et les différents secteurs socio-économiques.

I.3 Répartition de l'eau

Les potentialités en eau sont estimées à **18 milliards de m³/an** répartis comme suit :

- **12,5 Milliards de m³/an** dans la région du Nord dont :
 - **10 milliards** en écoulement superficiel.
 - **2,5 milliards** en ressources souterraines (renouvelables).
- **5,5 Milliards de m³/an** dans les régions sahariennes dont :
 - **0,5 milliard** en écoulement superficiel.
 - **5 milliards** en ressources souterraines (fossiles) [2].

Selon le ministère des ressources en eau, à partir de 2030, l'Algérie devrait mobiliser la population :

- **4,3 milliards de m³/an** d'eau, contre **3,3 milliards de m³/an** consommés actuellement.
- **8,3 milliards de m³/an** pour l'agriculture [3].

I.3.1 Ressources en eaux conventionnelles

Les eaux conventionnelles se répartissent en :

I.3.1.1 Les eaux de surfaces

Sur les cinq bassins hydrographiques, La capacité totale des 13 barrages de l'année 1962, était d'environ **450 millions m³** destinée essentiellement à l'irrigation des plaines agricoles de l'Ouest du pays. Celle des 48 barrages des années 2000 s'élevait à plus de **5030 millions de m³**. Les 80 barrages qui existent actuellement, cumulent une capacité de **8,6 milliards de m³**, ce qui signifie que la capacité des barrages existant dans notre pays ne retient pas la totalité des eaux pluviales en écoulement superficiel [4].

On dénombre, aussi, en termes d'ouvrages de mobilisation par les petits barrages et les retenues collinaires, 718 ouvrages d'une capacité totale de **89,7hm³** et 40 ouvrages en cours de réalisation. Ces derniers, dont la capacité est de **25 millions de m³**, sont destinés à l'irrigation de la capacité totale en eaux de surface estimée à **8,11 milliards de m³** [5].

Le système MAO, aménagement de l'oued Chéelif-Kerrada destiné à l'AEP des villes formant le couloir Mostaganem-Arzew-Oran, possède une capacité de **155 hm³/an**. D'autres transferts sont considérés comme de grands projets structurants dont on cite :

- le système Béni Haroun-hautes plaines Constantinois (**504 hm³/an**),
- le transfert TichyHaf-Béjaia (**150 hm³/an**),
- transfert Taksebt-Alger (**180hm³/an**),
- le transfert KoudiatAcerdoune-Hauts Plateaux (**178hm³/an**) [4].

I.3.1.2 Les eaux souterraines

Les volumes exploités des eaux souterraines avoisinent 80 % des ressources potentielles renouvelables, dont les potentialités globales sont estimées à **8 milliards de m³/an**, soit **22 millions de m³/an** répartis comme :

- **2 milliards de m³/an** dans le nord et **1, 8 milliards de m³/an** provenant de 147 aquifères, 9000 sources, 23000 forages et 100000 puits.
- **6 milliards de m³/an** dans le sud situés dans les nappes du Sahara septentrional avec une exploitation de **1,5milliards de m³/an** [4, 6].

I.3.2 Les eaux non conventionnelles

Une eau non conventionnelle est une eau douce obtenue à la suite de traitement.

Les barrages qui existent dans les quatre bassins hydrographiques du nord de l'Algérie ne sont plus capables de retenir complètement la quantité d'eau qui s'accumule à cause de l'envasement qui ne cesse de prendre de plus en plus de l'ampleur [7]. Par conséquent, une stratégie de mobilisation des eaux non conventionnelles est établie pour lutter contre cette pénurie. Cette stratégie est focalisée sur :

- Le dessalement d'eau de mer,
- La déminéralisation des eaux saumâtres,
- La réutilisation des eaux usées urbaines épurées.

I.3.2.1 Le dessalement d'eau de mer

L'Algérie compte 13 stations de dessalement d'une capacité de **2,31 millions de m³/j**, dont 11 stations en exploitation d'une capacité de **2,1 millions de m³/j**.

Le recours à ces stations permet de réserver les eaux de barrages pour l'agriculture [4].

I.3.2.2 Déminéralisation des eaux saumâtres

Dans le but d'améliorer la qualité des eaux, 23 stations ont été destinées pour la déminéralisation des eaux saumâtres d'une capacité totale de production égale à **254000 m³/j** [8].

I.3.2.3 La réutilisation des eaux usées épurées

La réutilisation des eaux usées épurées est une action préméditée et planifiée qui vise à produire des quantités complémentaires en eau pour différents usages (irrigation, arrosage des espaces verts, lavage des voiries, lutte contre les incendies, recharge des aquifères, l'industrie, etc.) [9].

Aujourd'hui l'Algérie a atteint un parc national qui compte 187 structures pour le traitement de **860 millions de m³**, dont **400 millions de m³** utilisables (**600 millions de m³** à l'horizon 2020) [4], avec pour la même année une quantité d'eaux usées rejetée estimée à **1,5 milliards de m³** à l'horizon de 2020, avec un taux de raccordement égal à 90 % (réseau national d'assainissement de 47000 km de longueur) [8].

I.4 L'eau en Algérie : enjeux et contraintes

L'Algérie fait partie des pays les plus déficitaires en matière des ressources en eau. La disponibilité théorique moyenne est estimée à **500 m³/an/hab**. Ceci représente le seuil critique car les données réelles sont estimées à **383 m³/an/hab**. (**180 litres/j/hab.**, en 2017). Ce seuil reste très inférieur au seuil fixé par la banque mondiale, qui est de **1000 m³/an/hab**. [10].

Parmi les contraintes qui aggravent la pénurie d'eau en l'Algérie, on peut citer :

- La limitation des ressources en eau,
- La forte demande due à la croissance démographique,

- Urbanisation, puisque les grandes villes sont situées dans le nord ce qui provoque un stress hydrique dans cette région,
- La mondialisation,
- Le changement climatique,
- Augmentation de la température et l'effet de serre, qui influent évidemment sur les pays de la région aride et semi-aride comme le cas de l'Algérie.
- Envasement des barrages à cause de la forte érosion des bassins versants favorisé par la nature des sols surtout dans la région de Chéllif-Zahrez, où le taux de sédimentation annuel est de 0,75%. les 52 grands barrages en Algérie reçoivent annuellement **32 millions de m³** de matériau solide [11].
- Problème des fuites d'eau des réseaux de distribution,
- Le partage des eaux transfrontalières,
- La carence en matière des structures de mobilisation des eaux. l'Algérie enregistra un déficit de **1 milliard de m³** d'ici l'an 2025 [12].

I.5 Contexte des eaux usées

I.5.1 Définition des eaux usées

Les eaux usées sont définies comme étant des eaux ayant subies une dégradation à la suite d'activités (domestiques, industrielle, agricoles, etc.) [13].

Toute pollution de l'eau est une altération dans un sens défavorable, d'une ou plusieurs caractéristiques physiques, chimiques ou biologiques de cette eau provoquée par le rejet de produits liquides, solides ou gazeux [14].

I.5.2 Origines des eaux usées

Selon l'origine des substances polluantes, on distingue quatre catégories des eaux usées :

- Les eaux usées domestiques : elles sont essentiellement polluées par les matières organiques et les détergents. Elles se répartissent en :
 - Eaux ménagères (eaux de cuisines ou salles de bains), qui sont chargées en matière grasse.
 - Eaux de vannes, constituées d'eaux de toilettes chargées en matières azotées et de germes fécaux.

Les statistiques ont montré que la pollution journalière produite par une personne utilisant de **150 à 200 litres** d'eau est évaluée à :

- 70 à 90 g de MES,
 - 60 à 70 g de MO,
 - 15 à 17 g de matières azotées,
 - 4 g de phosphore,
 - plusieurs milliards de germes pour 100 ml [13].
-
- Les eaux industrielles et artisanales : leurs caractéristiques sont fonction de l'industrie qui génère ces eaux. Elles peuvent contenir des matières organiques, phosphorées, azotées, des solvants, des métaux lourds, des hydrocarbures, etc.
 - Les eaux agricoles : elles résultent de l'élevage et de la culture.
 - Les eaux pluviales : elles peuvent être une source de pollution des cours d'eau par le fait qu'elles les contaminent d'impuretés puisées de l'air ou des sols lors du ruissellement [15].

I.6 Les paramètres de pollution des eaux usées

Ils se répartissent en paramètres physico-chimiques, biologiques et nutriments.

I.6.1 Paramètres physico-chimiques

Ces paramètres concernent les variables physiques et chimiques des eaux usées. Parmi elles on cite :

- **Le potentiel d'hydrogène (pH)** qui représente le degré d'acidité ou de l'alcalinité du milieu.
- **La température (T)** qui a un impact sur la solubilité des sels et des gaz.
- **Conductivité électrique (CE)** qui mesure et évalue la minéralisation globale de l'eau et d'en suivre l'évolution [16].
- **Les matières en suspension (MES)** : elles correspondent à la pollution insoluble particulaire, ou la totalité des particules charriées par les eaux brutes [17]. Elles sont constituées par les matières minérales et les matières volatiles en suspension. La détermination des MES se fait par filtration ou centrifugation [18].

Les **MES** s'expriment par la relation suivante :

$$\text{MES} = 30\% \text{ MMS} + 70\% \text{ MVS}$$

1. **les matières minérales (MM)** : représentent les résidus secs lors de l'évaporation totale de l'eau. Elles sont constituées par les matières minérales en suspension et les matières solubles (phosphate, chlorures, etc.).
 2. **les matières volatiles sèches (MVS)** : représentent la fraction organique des MES, et sont obtenues par calcination des MES à 525°C pendant deux heures. La différence de poids entre MES à 105°C et MES à 525°C donne la « perte au feu » et correspond à la teneur en MVS d'une eau.
- **Demande chimique en oxygène (DCO)** : elle représente la consommation en oxygène lors d'une réaction d'oxydation des matières oxydables par un oxydant puissant en présence de catalyseur [16].
 - **Demande biologique en oxygène (DBO₅)** : c'est la consommation d'oxygène en cinq jours par des micro-organismes existant dans les eaux.
 - **Les matières oxydables** : c'est un paramètre utilisé pour caractériser la pollution organique de l'eau. Il est donné par la formule suivante :

$$MO = (DCO + 2 * DBO_5) / 3$$

- **La turbidité** : ce paramètre indique la présence de matière organique ou minérale sous forme colloïdale en suspension. Elle varie suivant les MES présentes dans l'eau.

1.6.2 Paramètres biologiques

Les eaux usées contiennent des micro-organismes (champignons, helminthes, protozoaires, bactéries, virus, etc.) dont certains sont pathogènes.

La présence de coliformes et des Streptocoques témoigne d'une contamination fécale de ces eaux qu'il est impératif d'épurer pour préserver le milieu naturel [19].

1.6.3 Éléments nutritifs

La détermination des teneurs de l'azote et du phosphore total dans les eaux usées épurées, montre le risque que présentent ces deux éléments vis-à-vis du phénomène d'eutrophisation et de la pollution des nappes. Toutefois, ils sont considérés comme des fertilisants en cas de réutilisation en irrigation [20].

Ces deux éléments se présentent sous diverses formes :

- **Azote** : il est présent dans les eaux usées sous forme d'azote organique, d'azote ammoniacal (NH_3 , NH_4^+), de nitrates (NO_3^-) et de nitrites (NO_2^-).

On distingue :

- L'Azote total : qui regroupe toutes les formes citées ci-dessus,
- L'Azote kjeldahl (NTK) : qui représente l'azote ammoniacal et l'azote organique [16].

- **Phosphore total** : il se trouve sous forme ortho-phosphate (PO_4^+) combiné avec des matières organiques (phospholipides, acides nucléiques, etc.) et minérales (Al, Fe et Ca) [21].

I.7 Impacts des eaux usées

Les eaux usées ont des effets néfastes sur l'environnement et les êtres vivants.

I.7.1 Effet sur l'environnement : avec un taux de recouvrement de réseau national d'assainissement égal à 85%, certaines agglomérations et communes déversent leurs eaux usées directement dans le milieu naturel, les oueds, les barrages ainsi que dans la mer [8].

I.7.2 Effet sur la santé de l'homme : dans les pays en développement 80% des maladies sont de causes hydriques. Selon l'OMS, **1,6 millions** d'enfants meurent chaque année de maladies hydriques [22, 23].

En Algérie, souvent, les réseaux d'assainissement et les réseaux d'alimentation en eau potable sont confondus ou adjacents, ce qui, en absence d'entretien, provoquent des fuites qui contaminent les eaux potables.

I.8 Eau traitée et agriculture

L'agriculture est le secteur le plus consommateur de l'eau avec un taux de consommation égal à 65%. La gestion durable des ressources en eau a imposé une nouvelle politique durant ces dernières décennies, qui consiste à la valorisation de la quantité importante des eaux usées rejetées par le citoyen algérien.

L'épuration de l'eau usée et son utilisation en irrigation est une option attrayante, en particulier dans les zones arides et semi-arides, car elle représente une source d'eau et d'engrais additionnels renouvelables et fiables [23].

La réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation concerne, en priorité, les zones déficitaires en eau conventionnelle. Le nombre de structures de traitement des eaux usées urbaines doit atteindre, en 2020, 216 STEP avec une capacité de traitement de **1200 millions de m³/an** d'eaux épurées et une surface à irriguer de **100.000 ha** [24].

Afin d'assurer la couverture des besoins en eau pour l'agriculture en Algérie, la réutilisation des eaux usées épurées apparaît comme la solution la plus adaptée à l'irrigation. C'est ainsi qu'un programme pilote est lancé en 2010/ 2011 pour servir l'irrigation de :

- Site 1 : périmètre de Hennaya (Telemcen) ;

STEP : Ain El Hout ;

Superficie projetée : 920 ha.

- Site 2 : Périmètre de M'leta (Oran) ;

STEP : Oran ;

Superficie projetée : 8100 ha ;

Superficie à lancer : 600 ha à El kerma ;

- Site 3 : périmètre de Témacine (Ouargla) ;

STEP : lagune de Témacine ;

Superficie projetée : 780 ha.

- Site 4 : périmètre de Bourdj Bou Arrerij ;

STEP : de Bourdj Bou Arrerij ;

Superficie projetée : 250 ha.

- Site 5 : périmètre de Sétif ;

STEP : de Sétif ;

Superficie projetée : 800 ha.

- Site 6 : périmètre de Hamma Bouziane (Constantine) ;

STEP : de Constantine ;

Superficie projetée : 400 ha.

- Site 7 : périmètre de Mascara ;

STEP : Mascara ;

Superficie projetée : 600 ha ;

Lagune Ghris : 150 ha ;

Lagune El Hachem : 150 ha.

Ce programme pilote engage une superficie irriguée de **1200 ha** [25].

La stratégie nationale en matière de réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation a trois objectifs :

- Economiser et préserver les ressources en eaux conventionnelles,
- Accroître les superficies irriguées,
- Participer à l'augmentation de la production agricole.

L'épuration des eaux usées est une solution raisonnable et compétitive en termes de coût car le traitement d'un mètre cube d'eau usée est estimé à **5,94 DA** alors que le prix d'un mètre cube produit par les unités de dessalement est estimée à **150 DA** [4].

Partie II :

Procédés

biologiques de

traitement des

eaux usées

II.1 Procédés de traitement des eaux usées

Le traitement des eaux usées a pour but de les dépolluer pour qu'elles n'altèrent pas la qualité des eaux des milieux naturels récepteurs [27].

L'eau épurée est une eau usée traitée jusqu'à un niveau de pollution toléré par la législation (norme internationale, nationale ou OMS) pour être déversée dans un milieu naturel [28].

II.1.1 Le choix d'un procédé d'épuration

Il existe différentes techniques d'épuration. Le choix d'un procédé repose sur les critères suivants :

II.1.1.1 Caractéristiques des eaux usées

a- Une sous charge organique, représentée par la DBO qui en fonction de son rapport de biodégradabilité (DCO/DBO_5), impose un type de traitement. C'est ainsi que :

1. $DCO/DBO_5 = 1 \Rightarrow$ *épuration biologique;*
2. $1 < DCO/DBO_5 < 1,6 \Rightarrow$ *épuration biologique très poussée;*
3. $1,6 < DCO/DBO_5 < 3,2 \Rightarrow$ *épuration biologique associée à un traitement biochimique;*
4. $DCO/DBO_5 > 3,2 \Rightarrow$ *traitement biochimique.*

En plus du rapport de biodégradabilité, l'apport en nutriments doit être envisagé.

Les micro-organismes épurateurs nécessitent des apports en nutriments (azote, phosphore) dans des conditions normales. Les proportions doivent être de :

$$DBO_5/N/P = 100/5/1.$$

Pour un effluent urbain, on a : $DBO_5/NTK/P = 100/20/3,75$ [29].

En fonction du traitement biologique recherché et des populations bactériennes à favoriser, il convient de respecter les rapports nutritifs suivants :

- $10 < DCO/N < 60 \Rightarrow$ *favoriser la dénitrification;*

- $30 < DCO/P < 300 \Rightarrow$ *favoriser la déphosphatation.*

a-Dilution importante (concentration moyenne à 200 mg/l),

b- Variations brutales de charge,

c- Effluents septiques : issus des dispositifs d'assainissements individuels qui auraient dû être abandonnés lors du raccordement à l'égout [30].

II.1.1.2 L'exploitation

Les contraintes relatives à l'exploitation seront particulièrement décisives pour les petites collectivités qui disposent de moyens personnels très limités et qui doivent souvent faire appel à des sociétés de services.

II.1.1.3 Les coûts

L'exploitation des procédés extensifs est légèrement moins coûteuse que celle des procédés intensifs en matière de coût énergétique et celui pour la gestion des boues [30].

II.1.1.4 Le site

Il est caractérisé par :

- La proximité d'un milieu naturel agréable,
- Les caractéristiques géotechniques,
- Le taux d'infiltration des sols,
- La lithologie du sous-sol,
- La topographie du terrain,
- La direction des vents,
- La distance par rapport aux habitations,
- La situation par rapports aux rejets en aval [30].

II.2 Les réseaux de collecte

L'acheminement des eaux usées vers les stations de traitement se fait par des réseaux de collecte. Il en existe deux types :

-**Les réseaux unitaires** : ce sont des évacuations dans les mêmes canalisations des eaux usées domestiques et des eaux pluviales. Ces réseaux ont l'avantage d'être économiques et simples.

Il est indispensable de prévoir un système de contrôle pour considérer les variations brutales de débit des eaux pluviales.

-**Les réseaux séparatifs** : La collecte des eaux usées et des eaux domestiques se fait dans des réseaux distincts. Ce système permet de :

- Traiter uniquement les eaux domestiques (débit fixe),
- Assurer le bon fonctionnement des stations d'épuration,
- Diminuer le coût de traitement,
- Eviter le risque de débordement des eaux usées dans les milieux naturels [31].

II.3 Les étapes de traitement

Le processus d'épuration d'une eau usée est composé de :

- Un prétraitement ;
- Un traitement primaire ;
- Un traitement secondaire ;
- Un traitement tertiaire.

Le schéma global de traitement des eaux usées est illustré sur la figure ci-dessous.

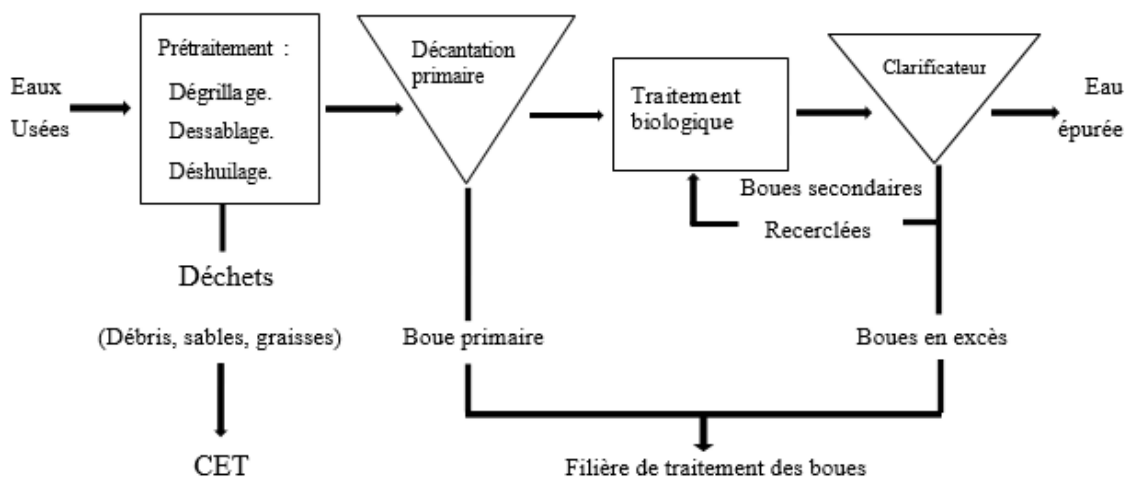


Figure II. 1 : étapes de traitement des eaux usées.

II.3.1 Le prétraitement

Le prétraitement est l'ensemble des opérations adoptées pour l'élimination des déchets grossiers et la masse spécifique (graisses) entraînés par les eaux usées. Cette étape a pour objectif :

- Réduire la taille des ouvrages et les protéger,
- Assurer un traitement efficace des eaux usées,
- Eviter de perturber l'efficacité des étapes ultérieures de traitement comme la décantation et l'aération.

Le prétraitement repose sur deux critères physiques qui sont :

- La granulométrie (dégrillage),
- La densité (dessablage, dégraissage).

II.3.1.1 Le dégrillage

Il permet d'enlever les matières volumineuses charriées par les eaux usées brutes à l'aide d'une succession de grilles inclinées ou perpendiculaires, au nombre de 2 à 4, de plus en plus fines selon la taille des objets à piéger [30].



Figure II. 2 : dégrilleur fin mécanique. (STEP lagunage Ami moussa Relizane)

II.3.1.2 Le dessablage

Le dessablage a pour but d'extraire des eaux brutes les graviers, les sables et les particules minérales plus ou moins fines. Ceci pour :

- Eviter les dépôts dans les canaux et conduites,

- Protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion,
- Eviter de surcharger les étapes de traitement suivant.

II.3.1.3 Déshuilage, dégraissage

Le déshuilage est une séparation liquide-liquide, tandis que le dégraissage est une séparation solide-liquide à basse température pour permettre le figeage des graisses. Ces dernières flottent à cause de leur densité qui est faible par rapport à celle de l'eau [30].

La flottaison peut être soit naturelle soit forcée par injection d'air.

Les opérations de déshuilage et de dégraissage permettent de :

- Limiter la quantité de graisses susceptibles de se coller, s'agglutiner et de flotter dans les ouvrages,
- Eviter le problème de la fermentation,
- Eviter l'encrassement de la station par des corps gras.

Habituellement, le dessablage et le déshuilage s'opèrent dans le même bassin (figure II.3).



Figure II. 3 : dessableur-déshuileur. (STEP boues activées, Salamandre, Mostaganem)

II.3.2 Le traitement primaire

Ce traitement est important pour réduire la DCO, DBO₅ et les MES. Son principe est la rétention des particules décantables [29].

Trois voies de traitement sont possibles :

II.3.2.1 La décantation

C'est un processus physique basé sur le principe de séparation solide-liquide par gravitation. C'est ainsi que les MES présentes dans les eaux usées se sédimentent naturellement.



Figure II. 4 : décanteur. (STEP boues activées, Salamandre, Mostaganem)

II.3.2.2 La flottation

C'est un processus physique de séparation solide-liquide ou liquide-liquide qui s'applique à des particules dont la masse volumique réelle ou apparente est inférieure à celle de l'eau.

II.3.2.3 La décantation associée à l'utilisation d'un coagulant-floculant

Ce processus physico-chimique aide à favoriser l'agglomération de MES et des colloïdes par ajout d'un coagulant et d'un floculant, de façon à augmenter la sédimentation par l'obtention de floccs plus gros [30].

A la fin du traitement primaire, une quantité de charge polluante est éliminée dont la composition est la suivante :

- 90 % de MES,
- 35 % de DBO₅,
- 70 % de DCO [29].

Les boues issues de ce traitement sont "les boues primaires". Ce sont des boues, non stabilisées donc fermentescibles.

II.3.3 Le traitement secondaire

Il est purement biologique et se déroule sur deux phases.

- Une phase de développement des bactéries qui se rassemblent en films ou en flocons.
- Une deuxième phase de décantation des boues qui se forment par action physique et physico-chimique par la rétention et dégradation de la pollution organique soluble au niveau du clarificateur [29, 32].

II.3.3.1 La clarification (décantation secondaire)

C'est un processus physique qui sert à séparer les flocs biologiques de l'eau interstitielle. Une fraction des boues décantées sera recirculée en tête des ouvrages de traitement biologique et le reste sera acheminé vers les ouvrages de traitement des boues.



Figure II. 5 : clarificateur. (STEP boues activées, Salamandre, Mostaganem)

II.3.4 Traitement tertiaire

Les composés restants du traitement secondaire sont généralement éliminés par traitement tertiaire qui consiste en une ozonation, une coagulation / floculation, une filtration par membrane ou par adsorption (charbon actif ou résines échangeuses d'ions). Le rendement est en général très satisfaisant puisque ces procédés permettent d'abattre jusqu'à :

- 75 à 95 % de la DCO,
- 97 % des composés aromatiques,
- 98 % de la couleur.

Le traitement tertiaire dans les stations d'épuration comporte les deux procédés suivants :

II.3.4.1 La déphosphatation

Elle consiste à précipiter le phosphore dans les eaux épurées par l'ajout d'un sel minéral (FeSO_4).

II.3.4.2 La désinfection

Elle a pour but d'éliminer les micro-organismes pathogènes des eaux épurées pour protéger la vie aquatique et, en cas d'utilisation de ces eaux dans l'irrigation, éliminer le risque sanitaires chez l'homme et les animaux de pâturage.

II.3.5 Traitement des boues

Le processus de traitement des eaux usées génère une quantité importante de boues constituées de boues primaires et de boues secondaires. Ces dernières subissent différents traitements (déshydratation, séchage, etc.), pour être utilisées comme fertilisants biologiques dans l'agriculture ou énergétique (méthanisation) pour la production du biogaz [33].

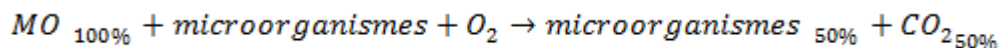
II.4 Généralités sur le traitement biologique des eaux usées

Le traitement biologique des eaux usées est basé sur l'activité des bactéries.

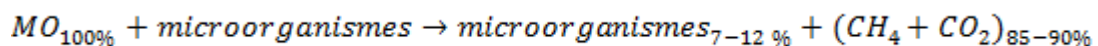
Son principe de fonctionnement consiste à éliminer les effets sensoriellement perceptibles ainsi que certains éléments chimiques présents dans l'eau [34].

Ce traitement se déroule sur plusieurs étapes. Au passage il faut noter que l'étape 1 et l'étape 2 se déroulent l'une sans l'autre ou les deux à la fois.

a-Traitement aérobie :



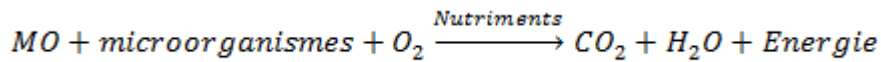
b-Traitement anaérobie :



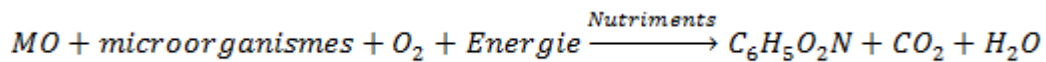
II.4.1 Principe de l'épuration biologique aérobie

L'épuration est réalisée par le métabolisme bactérien. Ce dernier est composé de :

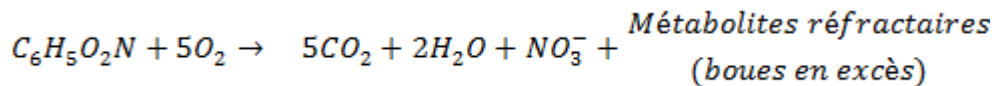
- **Réaction de catabolisme :**



- **Réaction d'anabolisme :**



- **Réaction d'oxydation de biomasse (respiration endogène) :**



- **Bilan d'oxygène :**

$$\Delta DCO(\text{soluble}) = \Delta DCO(\text{biomasse}) + \Delta O_2(\text{utilisé}) \quad [35]$$

-**Elimination de l'azote :**

Le processus d'élimination de ce composé nutritif par les bactéries des eaux usées se déroule en plusieurs étapes schématisées par la figure II.6.

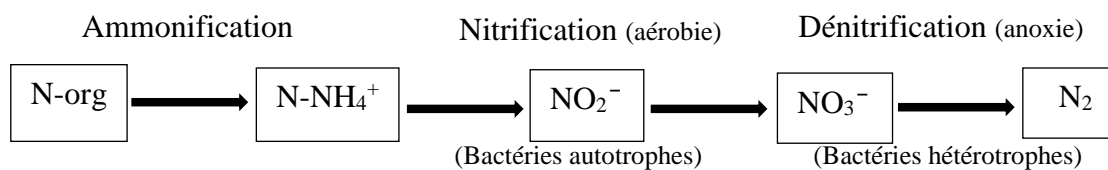


Figure II. 6 : mécanisme de dégradation des matières azotées dans les procédés biologiques.

II.4.2 La croissance bactérienne

La croissance d'une biomasse de concentration X , à l'instant zéro, en présence d'un substrat biodégradable de concentration S , comporte quatre phases (figure II.7).

- **Phase de latence :** correspond à l'adaptation des micro-organismes au milieu nutritif. La vitesse de croissance de la biomasse est presque nulle.

- **phase de croissance exponentielle** : c'est la phase où le taux de reproduction cellulaire atteint est maximal et reste constant en présence d'une concentration en substrat non limitante. La vitesse de croissance (1) et celle de la consommation du substrat (2) s'écrivent :

$$dX/dt = \mu_m X \quad (1)$$

$$dS/dt = -Y\mu_m X \quad (2)$$

Avec :

X : la concentration en matière organique active (g/l),

t : le temps en heure,

μ_m : taux de croissance maximale des micro-organismes par heure (h^{-1}),

S : substrat dégradé exprimé en taux de consommation d'oxygène (DBO₅ éliminée) en (g/l),

Y : masse (g) de cellules produites par unité (g) de substrat de concentration S . Y est le "rendement cellulaire".

Phase de stabilisation : à ce niveau, le taux de croissance bactérienne (μ) s'annule et le nombre de bactéries vivantes reste constant. La stabilisation est attribuée à l'épuisement du substrat et il s'ensuit l'accumulation des déchets toxiques et l'évolution défavorable des conditions physico-chimiques tel que le pH.

Phase de respiration endogène : la biomasse est dans la phase d'autolyse. Sa masse chute et la décroissance est proportionnelle à la concentration des micro-organismes S_a comme le montre l'équation (3):

$$dX_a/dt = -b_a S_a \quad (3)$$

Où :

b_a : taux de mortalité des micro-organismes par heure, il est de 0,18 à 20°C et de 0,135 à 13°C [29, 36, 37].

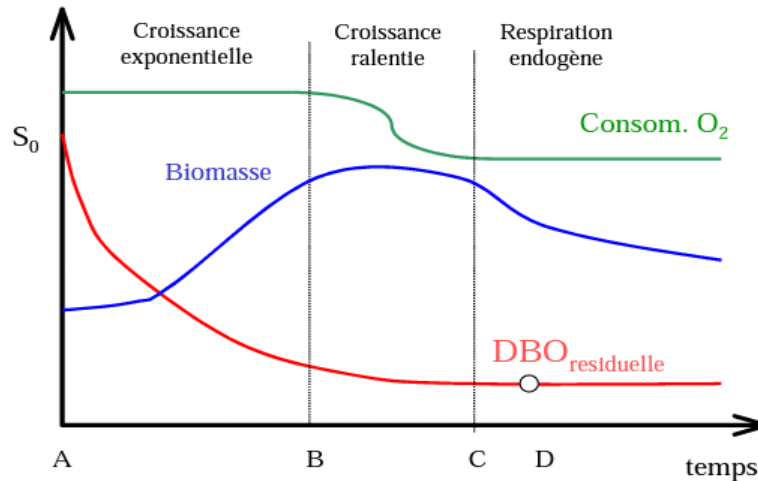


Figure II. 7 : croissance d'une culture bactérienne. [36]

II.4.3 Modélisation de la croissance bactérienne

Le modèle mathématique le plus utilisé pour la quantification de la croissance bactérienne est le modèle de Monode exprimé par l'équation suivante :

$$dX/dt = \mu X \text{ avec } \mu = \mu_m S / (K + S), \text{ (valable pour un RPAC)}$$

Avec:

μ (h⁻¹) : taux de croissance à l'instant t.

S(g/l) : substrat dégradé exprimé en consommation d'oxygène (DBO₅ éliminée).

K(mg/l): concentration seuil au-dessus de laquelle le taux de croissance doit être dépendant de la concentration en substrat [37].

II.5 Les techniques de traitement biologique

On distingue plusieurs types de traitement biologique :

II.5.1 Traitement par boues activées

C'est au début du XX^{ème} siècle, et en s'appuyant sur les travaux de Louis Pasteur, qu'Edward Arden et William Lockett donnent naissance au traitement biologique.

Ils constatèrent la formation d'agrégats bactériens lors de l'aération continue d'eaux d'égout. La présence d'oxygène augmente l'activité bactérienne, ce qui accélère la dégradation naturelle de la matière organique. Cette biomasse active prend le nom de « boue activée » [34].

Ce traitement passe par deux phases ; le contact de la biomasse et de l'eau usée dans un réacteur ensuite la séparation des solides de la phase liquide épurée par décantation.

Ce traitement est le plus répandu et son développement est dû aux excellentes performances de dépollution (rendement supérieur à 95%) qu'il réalise par rapport aux autres procédés existants. En contrepartie, suivant le type d'effluent à traiter, ce procédé peut être difficile à maîtriser pour le traitement de l'azote du phosphore ou en cas de variations importantes des flux à traiter [38].

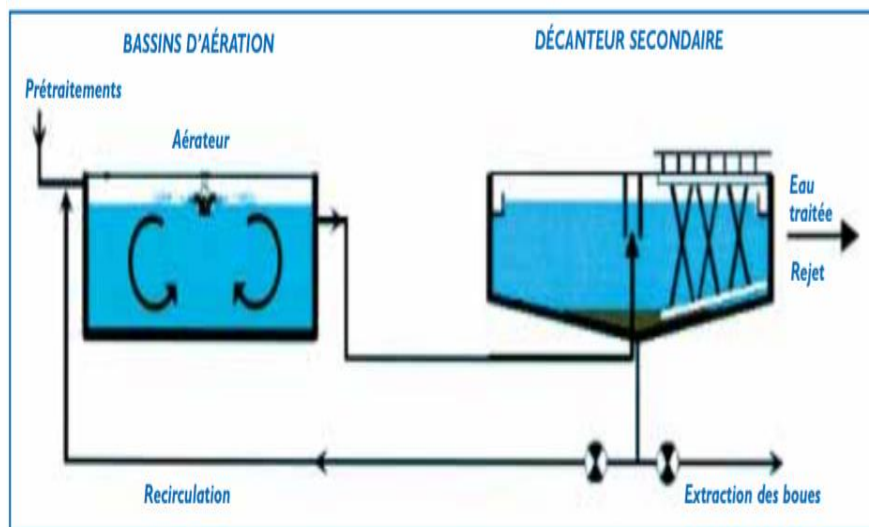


Figure II. 8 : synoptique d'une boue activée – aération prolongée. [42]

II.5.2 Traitement par lagunage

Il fait appel à un stockage des eaux pour des temps de séjour relativement longs, au minimum plusieurs jours, parfois plusieurs mois pour optimiser des processus naturels d'autoépuration à l'aide de technologies peu sophistiquées à coût énergétique limité [39].

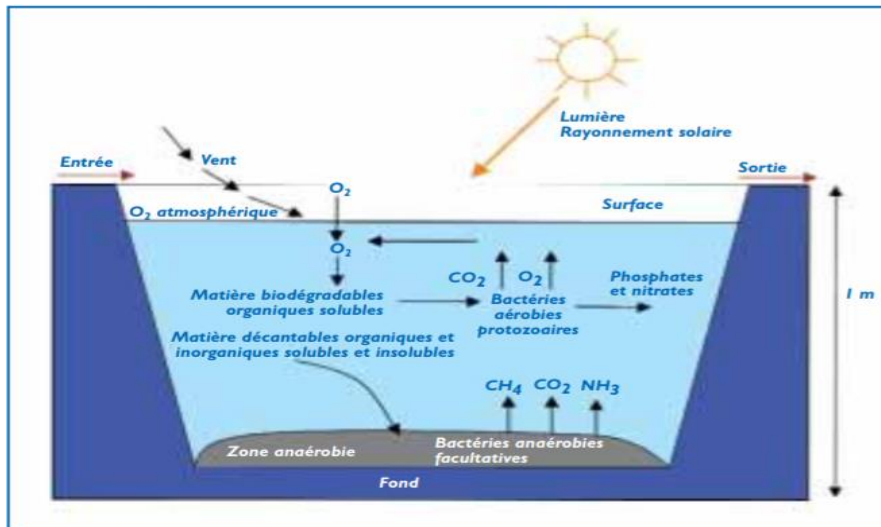


Figure II. 9 : les mécanismes mis en jeu dans un bassin de lagunage naturel. [42]

Il existe quatre types de lagunes :

- a- **Les lagunes anaérobies** : ce sont des bassins assez profonds (2,5 à 5 m) où la dégradation a lieu en absence d'oxygène produisant ainsi du biogaz (CO_2 et CH_4). Ces lagunes permettent une réduction de 60 % de la DBO.
- b- **Les lagunes facultatives** : elles sont moins profondes (1,2 à 2,4 m) et combinent entre l'aérobiose et l'anaérobiose. La dégradation aérobie s'effectue dans les zones proches de la surface et la dégradation anaérobie dans les profondeurs de la lagune.
- c- **Les lagunes aérobies** : ou lagune de maturation. Elles sont aérées et la circulation de l'eau est artificielle. L'air favorise la dégradation des déchets. Les algues et les plantes se nourrissent des éléments dissous par les bactéries et se développent par photosynthèse en augmentant ainsi le taux d'oxygène dissous dans l'eau. Leur profondeur ne dépasse pas les 1,5 m.
- d- **Lagune à haut rendement** : elles sont constituées de bassins de 30 cm à 60 cm de profondeur seulement. L'eau est lentement agitée par des roues à aubes, ce qui entraîne une production intensive d'algue et d'oxygène. Ainsi la surface nécessaire pour les bassins de ce type peut être jusqu'à 5 fois plus petite par rapport aux autres lagunes. Elles nécessitent des conditions minimales de rayonnement solaire et de température [40].

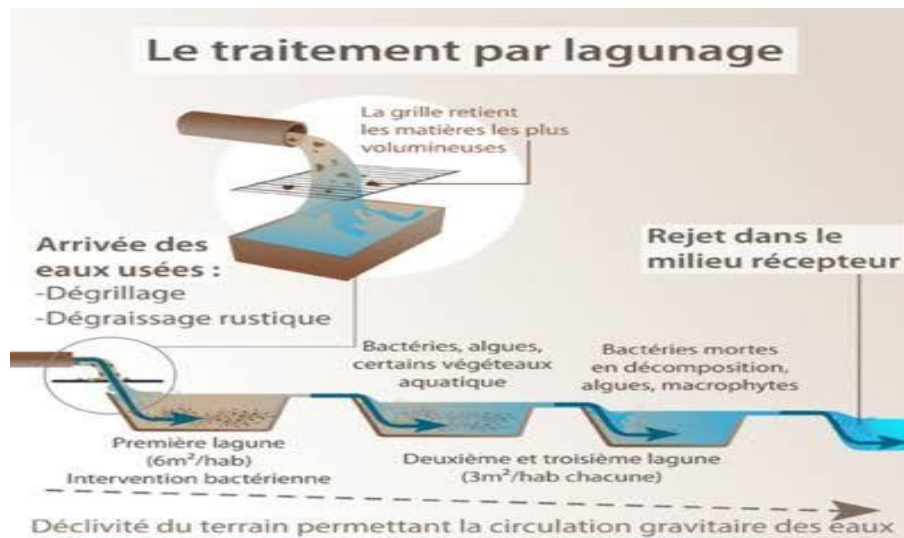


Figure II. 10 : schéma de principe de système lagunaire. [43]

II.5.3 Traitement par disques biologiques

Les micro-organismes se développent et forment un film biologique épurateur à la surface des disques minces en plastique montés sur un axe horizontal. Les disques étant semi émergés (environ 40% de la surface des disques), leur rotation permet alternativement l'oxygénation de la biomasse fixée et la dégradation de pollution [42, 43].

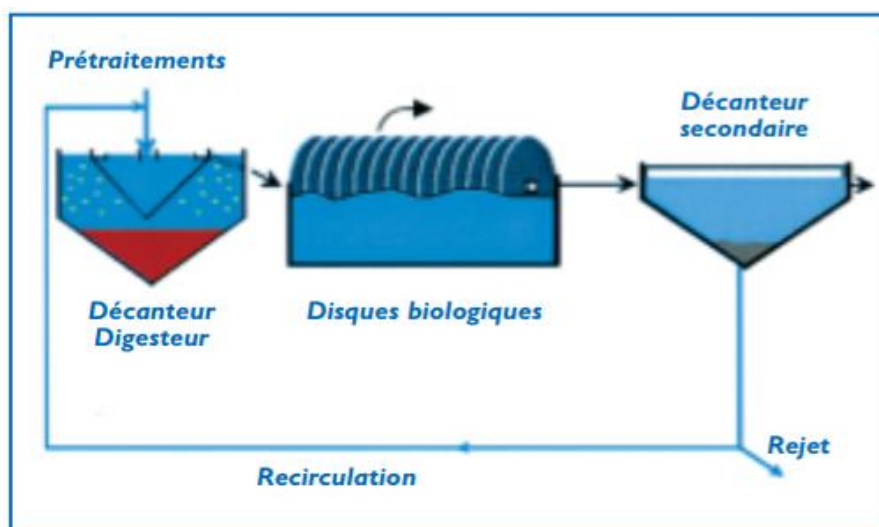


Figure II. 11 : synoptique d'une STEP à disque biologique. [42]

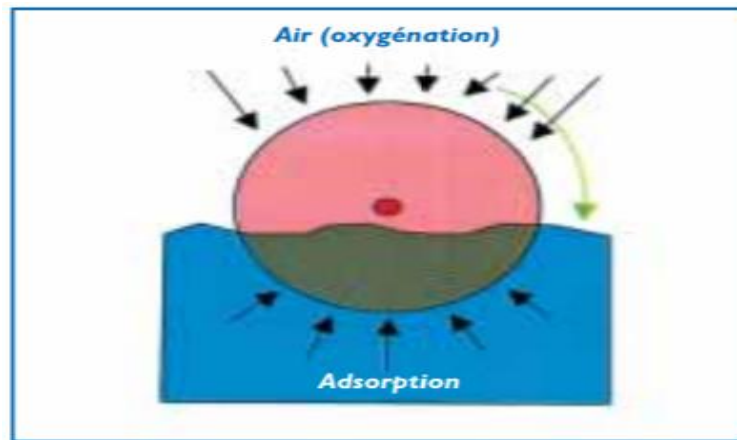


Figure II. 12 : schéma de principe d'un disque biologique. [42]

II.5.4 Traitement à lit fixe

Les premières stations d'épuration à biofiltre sont apparues dans les années 1970 et leurs exploitations pour le traitement des eaux usées urbaines ne se font que dans les années 1990.

Les avantages de cette technique sont :

- La possibilité d'échapper aux accidents de décantation des boues activées,
- Occupe moins de surface au sol,
- Sont plus faciles à installer dans des bâtiments fermés,
- Se prête bien à une construction modulaire,
- Temps de réaction plus court et permet d'envisager une optimisation automatique des paramètres de fonctionnement,
- Adaptation aux variations des eaux à traiter [44].

II.5.4.1 Principe de fonctionnement

Dans les lits bactériens, la masse active des micro-organismes se fixe sur un support poreux inerte ayant un taux de vide à travers lequel est percolé l'effluent (lits minéraux comme la pouzzolane et le coke métallurgique, ou plastique [45]).

Les matériaux de remplissage peuvent être ordonnés ou en vrac et la vitesse d'écoulement de l'effluent ne doit être ni trop rapide, pour donner le temps suffisant à la digestion bactérienne de la pollution organique, ni trop lent pour permettre une bonne évacuation de MES en excès.

Le lit bactérien est plus performant qu'un procédé à boues activées car il élimine :

- 30 à 40 % des virus,
- 50 à 95 % des bactéries,
- 20 à 90 % des œufs d'helminthes,
- 83 à 99 % des kystes de protozoaires [46].

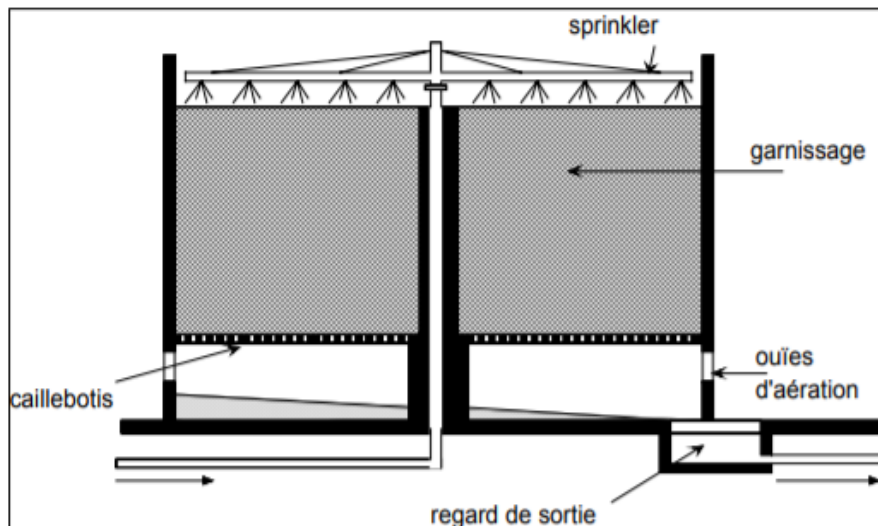


Figure II. 13 : schéma d'un lit bactérien. [48]

II.5.4.2 Classification des lits bactériens

Ils sont classifiés selon :

1. la charge

Les lits à faible charge : la charge hydraulique est inférieure à $0,4 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$ et la charge en DBO_5 est de $0,08$ à $0,15 \text{ kg}/\text{m}^3.\text{j}$ et le rendement de ce type de lits est de l'ordre de 95 %. Les lits bactériens à faible charge possèdent des risques de colmatage et le coût élevé et peuvent éliminer l'azote.

Les lits à forte charge : la charge hydraulique est supérieure à $0,7 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$, et la charge en DBO_5 est entre $0,7$ et $0,8 \text{ kg}/\text{m}^3.\text{j}$. Cette classe de lits nécessite une recirculation qui assure :

- L'autocurage du lit,
- L'ensemencement des eaux décantées,
- La dilution des eaux à traiter.

2. le matériau de remplissage

Les lits à remplissage traditionnel : le matériau de remplissage de ces lits peut être la pouzzolane (roche volcanique à structure alvéolaire), le coke métallurgique (coke en gros morceaux, très résistant à la compression, ou le coke la houille), de la silice ou des galets.

Ces matériaux possèdent une surface spécifique de 90 à 105 m²/ m³. Le taux de vide est de 50 % et la hauteur du support est d'environ 2 m. Lorsque le lit est à forte charge le taux d'épuration diminue (66 %) [45].

Les lits à remplissage plastique : ils ont une hauteur très importante par rapport au garnissage traditionnel, allant jusqu'à 12 m avec une surface spécifique développée de 80 à 220 m²/ m³ et un pourcentage de vide de 90 %. Ces lits peuvent traiter des charges volumiques élevées entre 1 et 5 kg/ m³.j.

Parfois ce procédé est réuni avec un traitement de type « boues activées ».

On peut distinguer deux types de présentation :

- Matériaux à remplissage ordonné,
- Matériaux à remplissage en vrac.

La durée de vie moyenne des lits à remplissage plastique est à l'ordre d'une dizaine d'années. Leur remplacement est occasionné par l'encrassement, l'écrasement, défaut de supportage, etc. [32].

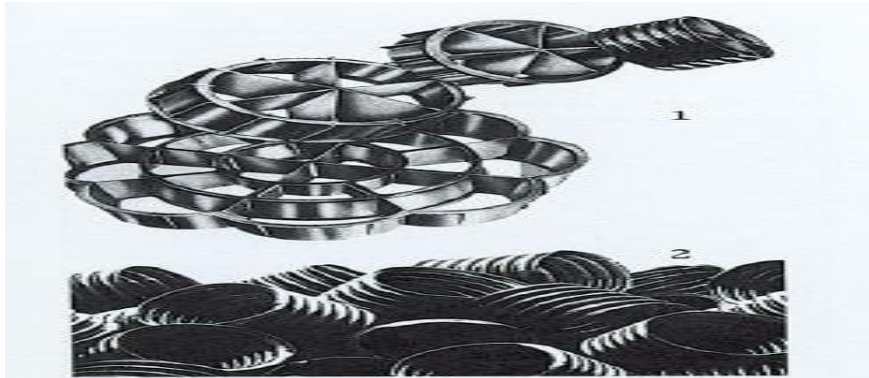


Figure II. 14 : exemple de matériaux de remplissage en vrac. [32]

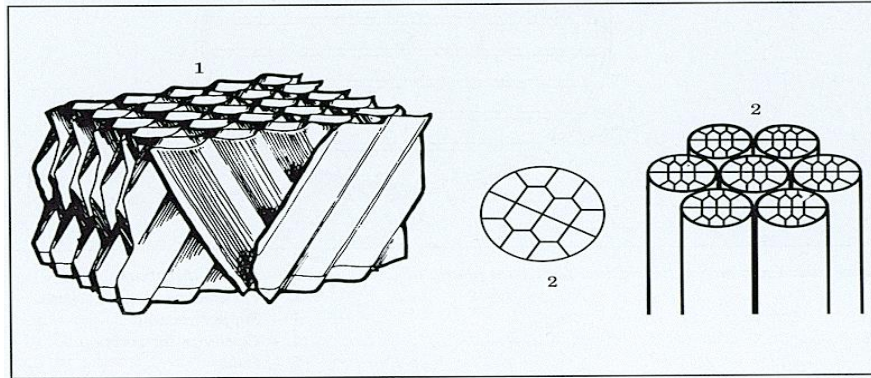


Figure II. 15 : exemples d'un matériau de remplissage ordonné. [32]

II.5.4.3 Les paramètres de fonctionnement

- **Expression de la charge**

La charge hydraulique admise par lit bactérien est donnée par la relation suivante :

$$Ch = Q(1 + R)/A$$

Avec :

Ch : charge hydraulique (m/h),

Q : débit d'effluent à traiter (m³/h),

R : taux de recyclage (%),

A : surface horizontale du lit (m²).

- **Le recyclage**

Le recyclage de l'eau traitée dans un lit bactérien à remplissage traditionnel a pour but d'améliorer les performances de l'élimination de la DBO.

Dans les lits à remplissage plastique, il permet d'augmenter la charge hydraulique ce qui améliore le mouillage du matériau.

- **Equation de dimensionnement**

$$S_0/S_f = \exp(KHA_s/Q^n)$$

Avec :

S_0 (mg/l): DBO₅ de l'eau brute, après décantation,

S_f (mg/l) : DBO₅ de l'eau de sortie du lit, après décantation,

A_s (m²/m³): surface spécifique du matériau plastique considéré,

H (m) : hauteur de remplissage,

Q ($m^3/j.m^2$) : la charge hydraulique.

n : coefficient calculé expérimentalement, d'après la relation suivante :

$$n = 0,91 - 21,48/A_s$$

K : constante de la biodégradabilité dépend de la nature de la pollution d'effluent à traiter et la température [32].

- **Calcul de l'efficacité d'un lit bactérien**

L'efficacité est fonction de la charge volumique appliquée donnée par :

$$B_{V,DBO} = 24QC_{DBO,1}/V$$

Avec : $B_{V,DBO}$: charge volumique appliquée en DBO ($g/m^3.j$),

Q : débit de l'effluent à traiter (m^3/h),

V : volume de garnissage (m^3),

$C_{DBO,1}$: concentration en DBO soluble et particulaire de l'effluent à traiter (mg/l).

L'expression de l'efficacité est :

$$E_{DBO} = 1 - (C_{DBO,2}/C_{DBO,1})$$

Avec :

E_{DBO} : efficacité d'élimination de la DBO,

$C_{DBO,1}$: concentration en DBO soluble et particulaire de l'effluent à traiter (mg/l),

$C_{DBO,2}$: concentration en DBO soluble et particulaire de l'effluent clarifié (mg/l) [48].

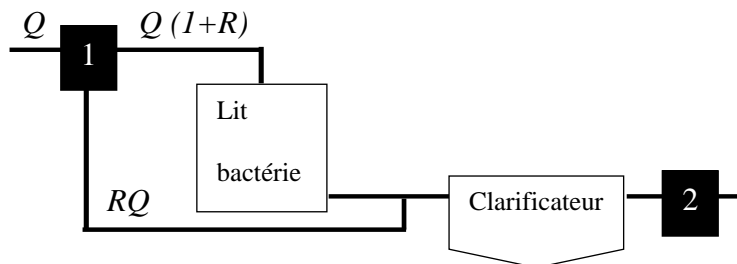


Figure II. 16 : diagramme des paramètres de fonctionnement. [48]

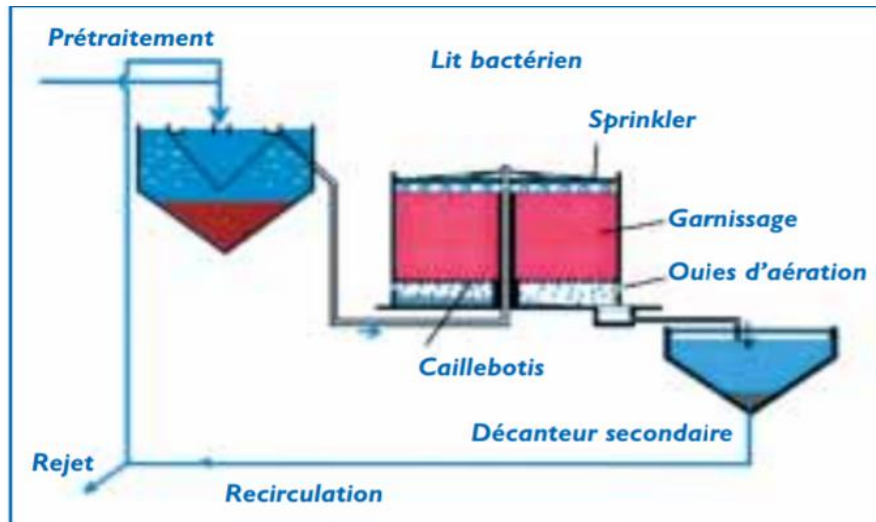


Figure II. 17 : synoptique d'une STEP comprenant un lit bactérien. [41].

I.6 Le cadre réglementaire

La législation algérienne est traduite par les lois suivantes :

La loi n° 05 – 12 du 04 août 2005, relative à l'eau, a institué, à travers ses articles 76 et 78, la concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation (JO n°60- année 2005).

Le décret n° 07-149 du 20 mai 2007 fixe les modalités de concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges y afférent (JO n°35 année 2007).

Les arrêtés interministériels du 02 janvier 2012 qui prennent en application les dispositions de l'article 2 du décret exécutif n°07-149 publiés en janvier 2012 par le ministère des ressources en eau (JO n°41).

- **Qualité des eaux brutes :**

Le tableau II. 1 regroupe les valeurs limites des différents paramètres de Pollution pour une eau brute d'après l'ONA et le journal officiel.

Tableau II. 1 : normes de la qualité des eaux usées brutes (ONA 2015 et JO 2009). [49]

<i>paramètres</i>	<i>Unité</i>	<i>Normes (ONA 2015)</i>	<i>Normes (JO 2009)</i>
DBO ₅	mg/l	449	500
DCO	mg/l	847	1000
MES	mg/l	582	600
NTK	mg/l	-	-
P total	mg/l	15	50
N total	mg/l	80	150
N-NO ₂	mg/l	-	0.1
pH	-	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5
Température	°C	30	30

- **Qualité des eaux épurées :**

Selon les normes algériennes, les valeurs limites maximales de rejet d'effluents sont regroupées dans le tableau II. 2

Tableau II. 2 : normes des eaux épurées dans un milieu récepteur. (ONA 2015 et JO 2009). [49]

<i>Paramètres</i>	<i>Unité</i>	<i>Normes (ONA 2015)</i>	<i>Normes (JO 2009)</i>
DBO ₅	mg/l	30	35
DCO	mg/l	80	120
MES	mg/l	30	35
NTK	mg/l	40	30
P total	mg/l	2	10
N total	mg/l	-	30
N-NO ₂	mg/l	-	0,1
pH	-	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5
Température	°C	30	30

- **Normes internationales :**

Les valeurs limites définies par l'OMS pour une eau traitée sont regroupée dans le tableau II. 3.

Tableau II. 3 : normes internationales d'un rejet. [50]

<i>paramètres</i>	<i>unité</i>	<i>Normes OMS</i>
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 ₃	mg/l	< 2
pH	-	6,5 – 8,5
température	°C	< 30

Tableau II. 4 : recommandations de l'OMS. [50]

<i>catégories</i>	<i>Groupe exposé</i>	<i>Œufs d'helminthe (NPP/ml)</i>	<i>Coliformes fécaux (NPP/100 ml)</i>
A	Irrigation de cultures Pouvant être consommées Crues, terrain de sport, parc public.	≤ 1	≤ 1000
B	Irrigation de cultures céréalières, industrielles, de fourrages, d'arbres fruitiers et de pâturages.	≤ 1	Pas de recommandation standard
C	Irrigation localisée de la catégorie B, sans exposition possible avec les travailleurs ou le public.	Non applicable	Non applicable

Chapitre III

Conception et réalisation

III.1 Objectif

Ce chapitre est destiné à la conception du dispositif pour le traitement biologique de l'eau usée par la technique du lit bactérien dans un laboratoire pédagogique. Il s'agit du **BTEU "Banc de Traitement de l'Eau Usée"** pour la faculté des Sciences et de la Technologie de l'université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem.

Le dispositif est constitué des éléments suivants :

- Un (1) dégraisseur.
- Deux (2) grilles.
- Un (1) dessableur/déshuileur.
- Un (1) décanteur primaire.
- Un cœur de filtration biologique.
- Un (1) clarificateur.
- Un (1) réservoir des eaux épurées.
- Un (1) épaisseur des boues.
- Un (1) bac pour la récupération des huiles.
- Un (1) bac de récupération du sable.
- Un (1) dispositif d'aération électrique.

Le dispositif doit être associé à des équipements de mesure des paramètres de la pollution. Ces équipements sont :

- DBO- mètre,
- Turbidimètre,
- pH-mètre,
- Thermomètre.

Ils mesurent le degré de pollution de l'eau et le pouvoir épurateur du dispositif.

Le dispositif est destiné à être utilisé par les étudiants soit dans le cadre des travaux pratiques, soit de projet fin d'étude ou pour simuler une station d'épuration. Le dispositif étant une STEP à l'échelle du laboratoire dont le procédé est basé sur le lit bactérien.

III.2 Constitution du dispositif

Le dispositif est composé de : (figure III.1 : schéma pratique)

- Cuve transparente d'une capacité de 4.5l (1) et contenant deux grilles : l'une grossière et l'autre fine,
- Vanne manuelle (2),
- Dessableur / déshuileur d'un volume de 6.5l (3),
- Vanne d'évacuation des sables (5),
- Bac de récupération des huiles (4),
- Bac d'évacuation des sables (6),
- Vanne manuelle d'évacuation des huiles (7),
- Vanne manuelle d'évacuation des eaux vers le décanteur (8),
- Cuve de décantation de volume 4.5l (9),
- Vanne manuelle d'alimentation en eau brute (10),
- Distributeur d'eau brute (11),
- Cartouche de filtre (12),
- Lit à remplissage moderne (13),
- Aérateur (14),
- Electrovanne d'évacuation d'eau (15),
- Cuve de décantation secondaire (16),
- Réservoir de récupération des eaux traitées (17),
- Vanne manuelle d'évacuation d'eau épurée (18),
- Vanne manuelle d'évacuation des boues en excès (19),
- Vanne d'évacuation des boues secondaires (20),
- Epaisseur des boues (21),
- Vanne d'évacuation des boues primaires (22).

III.3 Principe de fonctionnement

L'équipement est une mini station d'épuration des eaux usées équipé d'un lit bactérien doté d'un matériau fonction de la nature des eaux à traiter et de la nature de l'étude elle-même.

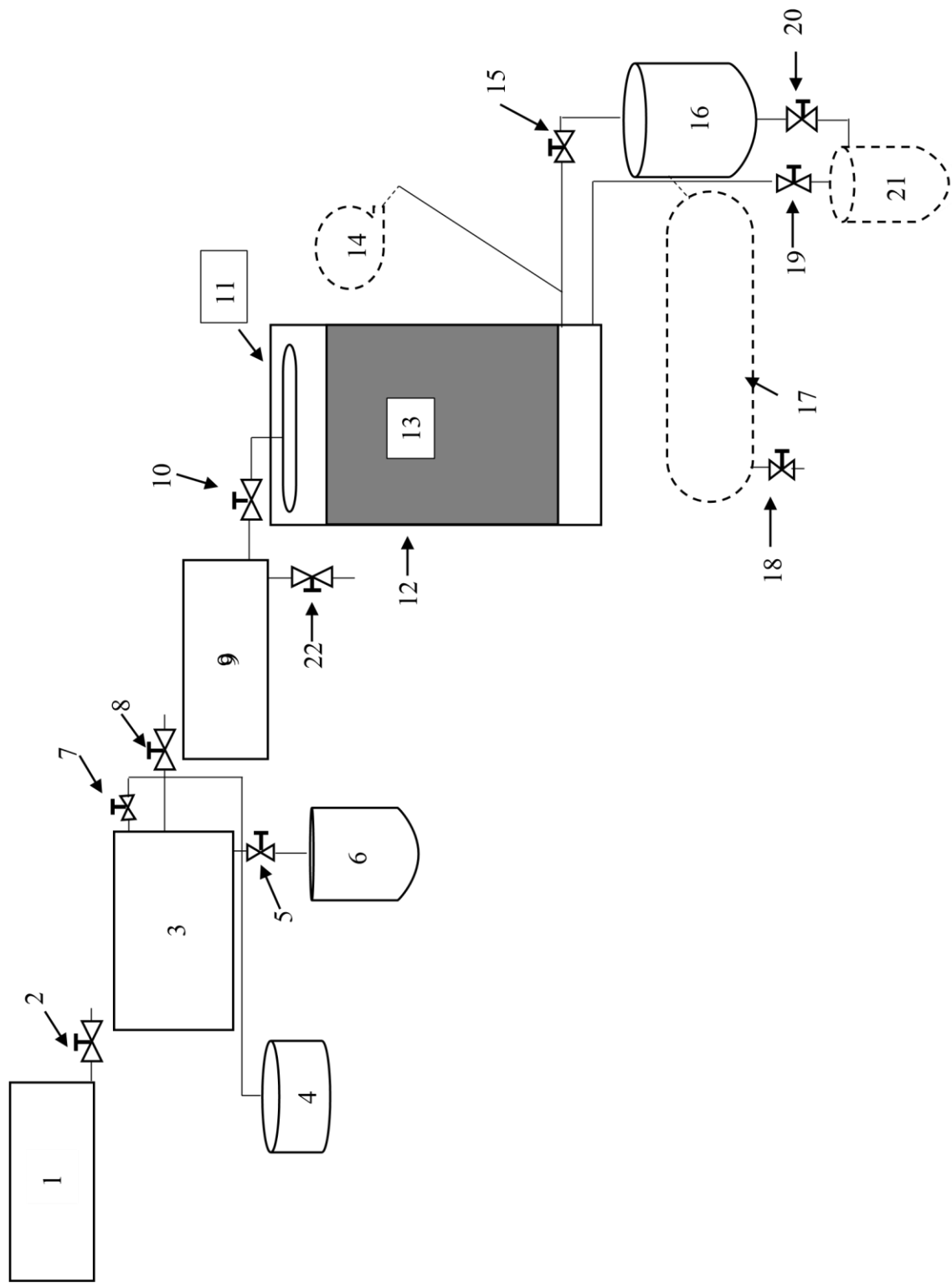


Figure III. 2 : schéma pratique.

L'expérience consiste à acheminer l'eau brute prétraitée sur un matériau inerte, qui sert de support à l'épurateur biologique.

III.4 Mode opératoire

III.4.1 Mise en marche du dispositif

La mise en marche du dispositif se déroule selon les points suivants :

- Mettre en marche du disjoncteur électrique général du dispositif,
- Ajuster les volumes des eaux brutes,
- Introduire la charge en eaux brutes dans la cuve (1) pour être dégraillée. Cette opération se fait avec la vanne (2) ouverte.
- Les eaux dégraillées sortant de la cuve (1) et sont déversées dans la cuve (3) (le dessableur) qui représente le premier traitement physique. le deuxième traitement physique consiste à éliminer les huiles ; partie surnageante récupérée dans le bac (4) avec la vanne 7 ouverte, et le sable, partie décantable est récupéré dans le bac (6) avec la vanne 5 ouverte. La réalisation de cette partie exige un séjour déterminé de l'eau dans le bassin (3). Le temps constitue un paramètre d'étude.
- Le troisième traitement physique se passe dans le bac (9). C'est la décantation primaire. A ce niveau, les paramètres suivants sont réduits :
 - MES.
 - DCO.
 - DBO.

Le bac (9) reçoit la charge dessablée et déshuilée via la vanne (8).

- Le dispositif (11), commandé par la vanne 10 situé sur la ligne qui surnage les boues, reçoit la charge pré-décantée et alimente le bac (12).
- La vanne (22) est utilisée pour la récupération des boues primaires.
- Le bac (12) reçoit un débit d'air du dispositif (14).

- La charge est clarifiée dans un clarificateur (16) via l'électrovanne (15). Le temps de séjour dans le clarificateur est un paramètre d'étude.
- L'eau épurée est stockée dans le réservoir (17).
- Le bac récupérateur (21) reçoit les boues :
 - primaires.
 - en excès.
 - secondaires.

III.4.2 Mise à l'arrêt

Cette étape succède l'utilisation du dispositif et elle a pour objectif la désinfection suite à l'arrêt du processus d'épuration. Elle est constituée des points suivants où la chronologie doit être respectée.

1. Ouvrir l'interrupteur commandant l'aérateur pour le stopper,
2. Ouvrir l'interrupteur commandant l'électrovanne pour l'arrêter,
3. Introduire environ 5 litres d'eau de javel à 12° dans le bac (1), vanne manuelle (2) fermée pendant 5 minutes ;
4. Ouvrir la vanne manuelle (2), laisser s'écouler la solution d'eau de javel dans le bac (3) en ajoutant un appoint pour le remplir complètement. Laisser séjourner l'eau de javel pendant 30 minutes.
5. Ouvrir les vannes manuelles (7) et (5) et laisser s'écouler la solution désinfectante jusqu'à remplir complètement les bacs (4) et (6) en suite les fermer.
6. Ouvrir la vanne manuelle (8) et remplir le bac (9) d'eau de javel et laisser séjourner pendant 30 minutes en fermant les vannes (10) et (22).
7. Ouvrir la vanne (10) à faible débit pour désinfecter les dispositifs (11) et (12) (les vannes 15, 19 et 22 restent fermées).
8. Ouvrir l'électrovanne (15) et fermer les vannes (18 et 20). Laisser s'écouler la solution dans le bac (16) et le réservoir (17) pour le désinfecter. Procéder à l'appoint avec l'eau de javel dans le bac (16) si c'est nécessaire.

9. Ouvrir les vannes (20) et (19). Laisser s'écouler la solution dans le bac (21) pour le désinfecter. Laisser séjourner la solution pendant 30 minutes.
10. Vidanger les bacs (4), (6), (21) et (17).
11. Rincer le dispositif avec de l'eau claire jusqu'à pH neutre.
12. Ouvrir l'interrupteur général du dispositif pour le mettre en arrêt.

III.5 Travaux à pratiquer avec le BTEU

Le BTEU est un dispositif multi traitements c'est ainsi que :

1. Selon la nature du cœur, l'effluent peut être eau domestique, industrielle ou un effluent synthétisé dans le cadre d'une séance de travaux pratique au laboratoire ou lors d'une simulation pour étude d'un paramètre de gestion d'une STEP.
2. En fonction de la nature du traitement lui-même qui peut être biologique ou physicochimique.

Remarque :

1. L'ensemencement du cœur du dispositif (lit bactérien) par les bactéries épuratrices se fait à partir d'un prélèvement d'une quantité connue de ces dernières de la source de rejet à traiter.
2. Le traitement physico-chimique est réalisé par un module d'extension qui est en phase de réalisation.

III.5.1 Techniques analytiques pratiquées après traitement

L'eau à traiter subit des analyses avant et après traitement pour évaluer le taux d'épuration.

III.5.1.1 Echantillonnage

Les échantillons à analyser doivent faire l'objet d'un prélèvement représentatif.

III.5.1.2 Les paramètres à analyser

III.5.1.2.1 Mesure de la température (T °C)

Ce paramètre est indispensable à mesurer car il représente la pollution thermique et influe sur la croissance bactérienne. Il est mesuré avec un thermomètre.

III.5.1.2.2 Mesure de potentiel d'hydrogène (pH)

Ce paramètre mesure l'acidité de l'eau et est réalisé par un pH- mètre après étalonnage et rinçage de la sonde plusieurs fois avec l'eau distillée.

III.5.1.2.3 Mesure de turbidité

Elle est due à la présence des particules en suspension et se mesure avec un

"Turbidimètre", qui permet d'évaluer la quantité de lumière diffusée à angle droit par un faisceau lumineux traversant l'échantillon. L'unité de mesure (Tableau III. 1) est le NTU (unité de turbidité néphélogométrique).

Tableau III. 1 : classes de la turbidité usuelle. [46]

Turbidité	Apparence
Turbidité < 5 NTU	Eau claire
5 < turbidité < 30 NTU	Eau légèrement trouble
Turbidité > 50 NTU	Eau trouble

III.5.1.2.4 Oxygène dissout

Il représente le taux d'oxygène dissout. C'est un paramètre nécessaire pour la vie des micro-organismes aérobies. Il est mesuré par un "oxymètre", en immergeant la sonde de ce dernier dans l'échantillon pendant une durée de temps déterminée (dans la notice d'utilisation de l'appareil).

III.5.1.2.5 Matière en suspension MES

Mode opératoire

Les matières en suspension sont mesurées à partir d'un volume déterminé selon les étapes suivantes :

- Prendre un papier filtre conique sec et taré. Y filtrer, sous vide avec une fiole à vide un volume d'eau connu et homogénéisé. Soit P1 (mg) la masse du filtre et V (ml) le volume de la solution.
- Sécher le filtre avec son contenu dans l'étuve à 105°C pendant deux heures jusqu'à poids constant et laisser refroidir au dessiccateur. Soit P2 (mg), le poids du filtre avec son contenu sec.

Remarque : Si l'eau est trop chargée, réaliser la filtration par petits volumes pour éviter le colmatage du filtre.

A. Expression des résultats

La concentration de MES en mg/l est donné par la relation suivante :

$$[MES] = ((P2 - P1) / V) \cdot 10^3$$

Avec :

P1 (en mg) : poids de filtre sec avant filtration.

P2 (en mg) : poids de filtre sec après la filtration.

V(en ml) : volume de l'échantillon d'eau.

III.5.1.2.6 Demande chimique en oxygène (DCO)

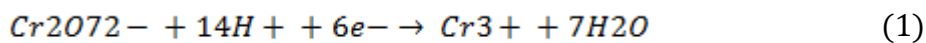
La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder par voie chimique certaines matières organiques et inorganiques contenues dans l'eau.

Elle représente la teneur totale en matière oxydables dans l'eau [17].

A. Principe

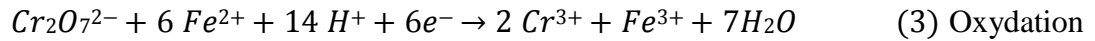
C'est une oxydo-réduction des matières oxydables dans l'eau par le bichromate de potassium en excès en milieu acide fort suivi d'un dosage en retour de l'excès de l'oxydant.

- Demi-équations électroniques :

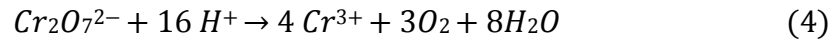




- Equation globale :



de la matière organique et équivalente en oxygène :



B. Mode opératoire

L'excès de bichromate qui en fin de réaction n'a pas réagi est titré par une solution de Fe^{2+} (solution de sel de Mohr, $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$). On obtient la DCO en faisant la différence entre la quantité initiale de bichromate et l'excès non consommé par l'oxydation chimique.

C. Mode opératoire

- Introduire dans un matras, 10 ml de l'échantillon à analyser (eau usée), 5 ml de solution de dichromate de potassium, quelques gouttes de solution de sulfate de mercure (10%),
- Ajouter avec précaution 15 ml d'acide sulfurique concentré et quelques gouttes de solution de sulfate d'argent (1%),
- Porter le mélange à ébullition sous reflux pendant deux heures. Essai à blanc
- Refaire comme précédemment en remplaçant l'échantillon d'eau usée par de l'eau distillée.

Pour l'échantillon ainsi que l'essai à blanc :

- Laisser refroidir les matras et rincer les réfrigérants à l'eau distillée,
- Ajouter 5 à 6 gouttes d'indicateur coloré (Féroïen),
- Titrer avec une solution de sel de Mohr de titre connu jusqu'au virage de la solution du vert bleu à l'orange.

D. Expression des résultats

La valeur de la DCO exprimée en mg/l est calculée à partir de la relation :

$$DCO = 8000 * C_F(V_1 - V_2)/V_0 \quad (5) \text{ Avec :}$$

C_{Fe} : titre de la solution de sel de Mohr 0.12 mg/l ;

V_0 (ml) : volume de la prise d'essai ;

V_1 (ml) : volume de sel de Mohr versé pour l'essai à blanc ;

V_2 (ml) : volume de la solution de sel de Mohr versé pour l'échantillon ;

8000 : demi-masse atomique de l'oxygène en mg.

Remarque :

Vérifier la validité de la méthode en calculant la DCO de l'essai témoin. Elle doit être de 500 mg d'O₂/l, en remplaçant dans l'équation (5) V_2 par V_t .

D'où :

V_t : volume en ml de la solution de sel de Mohr, avec la valeur de la DCO, contrairement à la valeur de la DBO₅, les composés difficilement dégradables ou non dégradables biologiquement sont également mesurés.

Tableau III. 2 : valeurs typiques de DCO [51].

Domaine de DCO (en mg/l)	Types des eaux usées/substrat
5 - 20	Eaux courantes
20 - 100	Eaux usées communales après épuration biologique
300 - 1000	Eaux usées communales non épurées
22000	Eaux d'infiltration des décharges

III.5.1.2.7 Demande biologique en oxygène en cinq jours (DBO₅)

La demande biochimique en oxygène pendant cinq jours est évaluée par la méthode respirométrique dite manométrique qui permet de suivre automatiquement l'évolution de la demande biochimique en oxygène au cours de l'oxydation des matières organiques [17].

A. Mode opératoire

Un échantillon d'eau est introduit dans des flacons sombres surmontés de coupelles contenant de l'hydroxyde de potassium. Le tout est mis en incubation sous air dans une enceinte thermostatée à 20°C pendant cinq jours sous agitation constante.

B. Expression des résultats

Les micro-organismes présents consomment de l'oxygène dissous et produisent du gaz carbonique qui est piégé par de l'hydroxyde de potassium contenu dans la coupelle.

Chaque flacon est muni d'un manomètre qui enregistre la dépression provoquée par la consommation de l'O₂ de l'air.

Remarque :

Les analyses réalisées après traitement doivent être comparés à celles réalisées avant traitement du même échantillon. **III.5.2 Essai du BTEU**

• Résultats

Tableau III. 3 : résultats d'essai.

Paramètres	Avant	Après	Normes (JO)
T (°C)	28,2	26,5	30
pH	7,41	8,25	6,5 – 8,5
MES (mg/l)	270	28	35
NT (mg/l)	70	44	30
PT (mg/l)	11,2	6,6	10
DBO ₅ (mgO ₂ /l)	480	46	35
DCO (mg O ₂ /l)	960	140	120

- **Interprétation**

Les valeurs de température des eaux usées avant et après traitement était respectivement 28,2°C et 26,5 °C. Celle mesurée avant traitement a été influencée par la température du milieu extérieur (lieu prise d'échantillon).

Concernant les résultats du pH enregistrés à la sortie du dispositif, on remarque que la valeur du pH des eaux usées a augmenté soit 8,25 par rapport à 7,41 à l'entrée.

Cette élévation peut être expliquée par l'hydrolyse et la volatilisation ; en solution, l'azote ammoniacal (NH_3^+) s'hydrolyse rapidement en ion ammonium (NH_4^+) et la volatilisation de l'ammoniac s'effectue en conditions de pH supérieur à 8. De même, les phénomènes de sédimentation présents dans les bacs de stockage suggèrent la présence de boues au fond du bac qui se minéralise selon le temps de séjour. Toutefois, il reste dans la limite de norme.

La teneur des MES obtenue après traitement des eaux usées chute de 270 mg/l à 28 mg/l. On remarque un abattement considérable des matières en suspension et matières adsorbées (matières organique, composés azotés, phosphoré,...) qui s'effectue par sédimentation et agrégation-sédimentation selon l'abondance, la vitesse des particules et le temps de séjour des eaux usées dans les bacs.

La teneur en phosphore total après traitement a baissé de 11 ,2 (mg/l) à l'entrée à 6,6 mg/l .Ceci implique que le système de traitement des eaux usées est efficace ainsi la valeur obtenue répond à la norme du journal officiel et qui est de 10 mg/l.

Pour l'azote total, on constate une diminution importante de 70 mg/l à l'entrée du bac jusqu'à 44mg/l à la sortie du dispositif. Seulement, La valeur obtenue reste loin de la norme soit 30 mg/l.

L'excès d'azote et de phosphore provoque le phénomène d'eutrophisation qui est défini comme l'enrichissement des eaux en substances nutritives qui aboutit à des modifications symptomatiques telles que la production accrue d'algues, détérioration de la qualité d'eau ainsi que tous les usages qui en sont fats et malades des plantes.

D'après les résultats exprimés dans le tableau, on constate que les teneurs après traitement en DCO et DBO₅ ont été diminuées en comparaison avec celles de l'entrée. Cela

est dû au mécanisme de dégradation des composés carbonés par les micro-organismes épurateurs dans le lit bactérien.

Ces composés et d'autres substances oxydables qui peuvent être dissoutes ou particulaires peuvent être dégradés par voie aérobie ou anaérobie. Le type de décomposition est déterminé par l'équilibre entre le flux de matières organique en entrée du système et la capacité de réoxygénation du milieu. Les bactéries aérobies hétérotrophes sont responsables de la dégradation aérobie de composés organiques solubles.

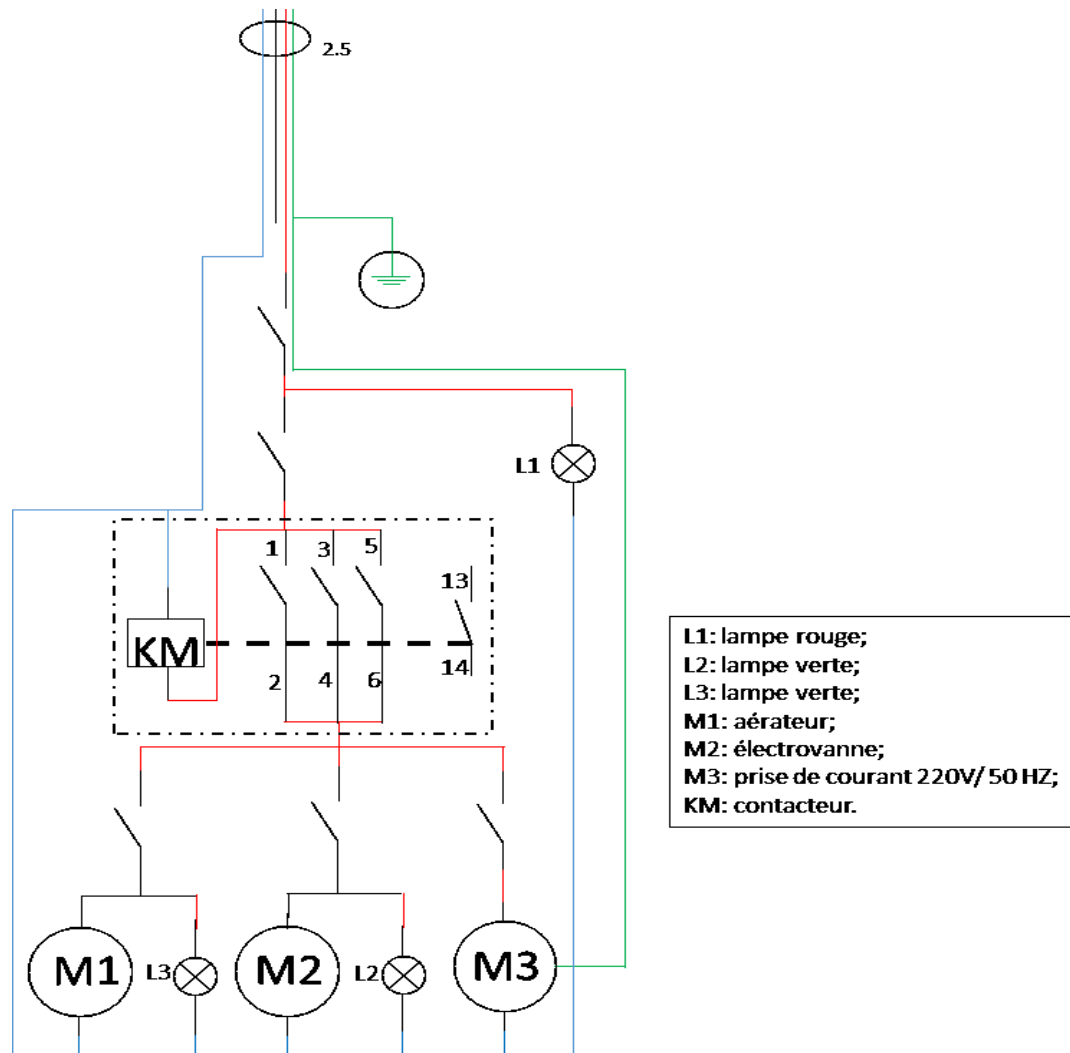


Figure III. 1 : schéma électrique du BTEU.

Conclusion générale

Au terme de ce travail, nous constatons que le traitement des eaux usées constitue sans doute l'une des solutions incontournables pour notre pays qui souffre du déficit hydrique.

Dans ce contexte et à échelle laboratoire, nous nous sommes proposé à la réalisation d'un banc de traitement des eaux usées (BTEU). Il est constitué de plusieurs bacs représentant les bassins dans une station de traitement des eaux usées (STEP). Ce banc fonctionne selon la nature de l'eau polluée (domestique, industrielle,...).

Pour mettre en évidence l'efficacité du dispositif, nous avons fait un essai préliminaire.

Certains paramètres caractérisant la pollution d'une eau comme la température, le pH, les MES, la DBO₅, la DCO, l'azote total et le phosphore total ont été mesurés à l'entrée et à la sortie du dispositif.

Les résultats obtenus montrent que les eaux usées traitées présentent une pollution organique (DBO, DCO), azotée assez importante par rapport aux normes malgré l'abattement considérable des trois paramètres ce qui explique le degré de pollution des eaux brutes. Pour les matières en suspension, le phosphore total, le traitement s'est montré très efficace soit respectivement 28 mg/l, 6,6 mg/l par rapport aux normes qui sont 35 mg/l pour les MES et 10 mg/l pour le phosphore total. De même pour la température et le pH ; ils restent dans la limite des normes.

Le dispositif n'est pas complet (faute de moyens et de temps) et sa conception n'est pas terminée. L'idée de base a été réalisée donc pour qu'il soit plus performant, il doit être muni d'un ensemble d'appareils avec une partie informatisée car il va servir pour les travaux pratiques et pour les projets de fin d'études des étudiants au sein de la faculté des Sciences et de la Technologie.

Références bibliographiques

- [1] : V. G2ORGOIS, 1988, épuration par cultures fixes sur support géotextile, thèse doctorat, biotechnologie, l'école nationale des ponts et chaussées- ENPC Paris, France, 195 p.
- [2] : Société publique de gestion de l'eau, www.spge.be , consulté le : 12/05/2019.
- [3] : M. MOZAS, A. GHOSN, 05/2013, état des lieux du secteur de l'eau en Algérie, institut de prospective économique du monde méditerranéen (IPEMED).
- [4] : <https://www.elwatan.com>, publié le : 11/02/2019, Consulté le : 22/04/2019.
- [5] : Ministère des ressources en eau (MRE), www.mre.gov.dz, publié le : 21/05/2018, consulté le : 24/04/2019.
- [6] : Food and Agriculture Organization (FAO), publié en 2015, consulté le : 21/04/2019.
- [7] : F.Z. SOUAK, la politique de l'eau en Algérie : valorisation et développement durable, ENSSEA, 19 p.
- [8] : B. REMINI, 2017, une nouvelle approche de gestion de l'envasement des barrages, larhyss journal, pp. 51-81.
- [9] : K.DJELOUAH, 2018, conférence des nations unies sur le commerce et le développement (CNUCED), 7-8/05/2018, Genève, MRE, pp. 1-14.
- [10] : www.aps.dz/economie.com , publié le : 18/09/2018 ; consulté le : 12/05/2018.
- [11] : S.B. MALIKI, 2006, politique de l'eau en Algérie : les modèles marchands face à la pauvreté, Research Gate, pp 97-106.
- [12] : B. REMINI, 2010, la problématique de l'eau en Algérie du Nord, Larhyss, pp 27-46.
- [13] : A. HANNACHI, R. GHARZOULI, Y. DJELLOULI TABET, 2014, gestion et valorisation des eaux usées en Algérie, Larhyss journal, pp 51-62.
- [14] : Office National d'Assainissement (ONA), 2018, <https://ona-dz.otg> , consulté le : 12/05/2019.
- [15] : M. MARCEL, CHARTIER, les types de pollution de l'eau, 04-06/ 1974, Norois, www.persee.fr , pp183-193.

- [16] : Mémoire online, traitement des eaux usées urbaines par boues activées au niveau de la ville de Bordj Bou Arreridj, effectué par la station d'épuration des eaux usées ONA, consulté le : 23/05/2019.
- [17] : J. RODIER & coll., 2005, l'analyse de l'eau, 8^{ème} édition, paris, DUNOD, 1343 p, Environnement et Sécurité.
- [18] : A. HAMLAT, 25/06/2014, contribution à la gestion des ressources en eau des bassins versants de l'ouest algérien à l'aide d'un système informatisé, thèse doctorat, hydraulique, Oran, faculté d'architecture et de génie civil, 243 p.
- [19] : Guide techniques de l'assainissement 2^{ème} édition.
- [20] : SAGGAI, 2004, contribution à l'étude d'un système d'épuration à plantes macrophytes pour les eaux usées de la ville de Ouargla, Magister, université de Ouargla.
- [21] : M.A.CHERIF, 2017, contribution à l'élaboration d'un logiciel pour le dimensionnement d'une station d'épuration, mémoire Master, hydro informatique, département d'hydraulique, université Abou Bakr Belkaid, Tlemcen, 102 p.
- [22] : Phosphore et l'environnement, Institut Technique du Porc (ITP).
- [23] : Progress on drinking water, sanitation and hygiene, 2017, Unicef.
- [24] : Food and Agriculture Organization (FAO), 2003.
- [25] : M. BENBLIDIA, 2011, l'efficience d'utilisation de l'eau et approche économique, plan bleu, étude nationale, Algérie.
- [26] : M. KESSIRA, 26-28/06/2013, Iran, valorisation des eaux usées épurées en irrigation, Algérie, 2013.
- [27] : Centre d'information sur l'eau, www.cieau.com, consulté le : 20/05/2019.
- [28] : T.MEDJDOUB, 2014, étude conception et dimensionnement d'une STEP par filtres plantés de roseaux des eaux usées des zones éparses de la commune de Terny, mémoire Master, technique de traitement des eaux, Tlemcen, département hydraulique, université Abou Bakr Belkaid, Tlemcen 132 p.

- [29] : C.CARDOT, 2005, le traitement de l'eau procédés physico-chimiques et biologiques cours et problèmes résolus, niveau B, France, ellipses, 242 p, Technosup.
- [30] : A. ZOBEIDI, 2017, épuration des eaux usées urbaines par lagunage aéré en zone aride cas de la région d'El-Oued, paramètres influents et choix des conditions optimales, thèse doctorat, Génie des Procédés, Ouargla, département de Génie des Procédés, 202 p.
- [31] : www.suezwaterhandbook.fr , consulté le : 21/05/2019.
- [32] : Degrémont, 1978, Mémento technique de l'eau, huitième édition, France, 1200 p, technique et documentation.
- [33] : Y. ALKANEJ, 2017, recherche sur les méthodes et techniques appliquées au séchage des boues des STEP, thèse doctorat, hydraulique, université Badji Mokhtar, Annaba, 180 p.
- [34] : L.PASQUINI, 2013, micropolluants issus de l'activité domestique dans les eaux urbaines et leur devenir en station d'épuration, thèse doctorat, géosciences, France, université de Lorraine, 298 p.
- [35] : N.BERNET, traitement biologique des eaux usées, INRA-laboratoire de biotechnologie de l'environnement, Narbonne.
- [36] : H.DHAOUADI, 2008, les procédés biologiques d'épuration, université virtuelle de Tunis.
- [37] : J.M.BERLAND, 2014, traitement des eaux résiduaires des agglomérations-filières intensives, référence : C5222 V1.
- [38] : C. BASSOMPIERRE, 2007, procédés à boues activées pour le traitement d'effluents papetiers : de la conception d'un pilote à la validation de modèles, thèse doctorat automatique, Grenoble, Institut National Polytechnique de Grenoble, 232 p.
- [39] : J. BONTOUX, B. PICOT, 1994, canada, volume 29, possibilités et limites des bassins lagunaires dans l'épuration des eaux usées.
- [40] : www.wikiwater.fr consulté le : 25/05/2019.
- [41] : www.eaudumaroc.com , consulté le : 25/05/2019.

- [42] : Guide des procédés extensifs d'épuration des eaux usées- adoptés aux petites et moyennes collectivités, mise en œuvre de la directive du conseil n° 91/271 du 1991, relative au traitement des eaux urbaines résiduaires (water guide).
- [43] : www.slideshare.net , consulté le : 25/05/2019.
- [44] : D. BALLAY, J.F. BLAIS, 1998, le traitement des eaux usées, revue des sciences de l'eau, université de Québec INRS-Eau, Terre et Environnement.
- [45] : www.emse.fr, consulté le : 26/05/2019.
- [46] : F.Z. DEHBI, 2015, étude comparative des performances d'un lit bactérien à garnissage en pouzzolane de beni Saf et d'un lit bactérien à garnissage plastique, mémoire Master, hydraulique, Tlemcen, université Abou Bakr Belkaid, 195 p.
- [47] : A. BECHLAGHEM, 2013, étude de faisabilité de réutilisation des eaux usées issues de la STEP de Chlef à des fins agricoles, mémoire Master, technologie de traitement des eaux, université Abou Bakr Belkaid, Tlemcen, 119 p.
- [48] : Y. RACAULT, F. SEGUERT, 2004, base de dimensionnement des stations d'épuration rurales, éléments de conception et de dimensionnement des lits bactériens, 17-19/05/2004, Toulouse, France, 18 p.
- [49] : N. A. BENSAYAH, I. LEKHAL, 2017, l'étude des systèmes de collecte et épuration des eaux usées de groupement urbain de Tlemcen, mémoire Master, eau, sol et aménagement, université Abou Bakr Belkaid, Tlemcen, 155 p.
- [50] : Kh. ADJEROUD, 2016, étude physico-chimique et organique des eaux usées de la ville d'Ain Beida, et leur impact sur l'irrigation, mémoire Master, hydraulique urbaine, université Larbi Ben M'hidi- Oum El Bouaghi, faculté des Sciences et Sciences Appliquées, Oum El Bouaghi, 115 p.
- [51] : BLIEFERT, PERRAUD, 2009, chimie de l'environnement air, eau, sols, déchets, 2^{ème} édition, Bruxelles, Boeck université, 478 p.