

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. M. OULHADJ - Bouira
Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées
Département de Génie des Procédés



Mémoire

Présenté par

BAHRI Djamila
BOUDJAOUI Nabila

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Sciences et Génie de l'environnement

Spécialité : Génie de l'environnement

Conception d'un montage de traitement à boue activée
appliqué à l'élimination de bleu de méthylène

A présenter le : 13 / 02 / 2020

Devant le jury composé de :

Mr LOUNICI H.	Professeur	UAMO, Bouira	Président
Mme ZAABAR A.	MCA	UAMO, Bouira	Examinatrice
Mme TALBI O.	MAA	UAMO, Bouira	Examinatrice
Mme EL HANAFI N.	MCB	UAMO, Bouira	Encadreur

2018 / 2019

Remerciements

Tout d'abord, merci et louange à Allah qui nous a donné la volonté, la force et le courage pour réaliser ce travail.

Nos profondes gratitudes et nos sincères remerciements vont particulièrement à madame EL HANAFI. Pour avoir accepté de nous encadrer. Nous la remercions pour son implication, son soutien, ses encouragements et ses conseils tout au long de ce travail. Nous avons eu le grand plaisir de travailler sous votre direction.

Nous tenons à remercier vivement et très sincèrement le professeure LOUNICI H. Merci pour votre indéfectible disponibilité, pour l'acuité de vos critiques et pour vos conseils éclairés.

Nous adressons des remerciements particuliers aux membres du jury: Pr. LOUNICI H. (président), madame ZAABAR A. (examinatrice) et madame TALBI O. (examinatrice). C'est pour nous un grand honneur de vous voir siéger dans notre jury. Nous vous sommes très reconnaissants de la spontanéité et de l'amabilité avec lesquelles vous avez accepté de juger notre travail.

Nous remercions, très chaleureusement, tous les membres de deux familles : BAHRI et BOUDJAOUI, petits et grands, pour leurs encouragements.

Nous voudrions également remercier tous les personnes qui ont contribué à compléter ce travail, en particulier, nos camarades de

Remerciements

promotion 2018 - 2019 (génie de l'environnement et génie chimique) pour leur aide morale durant toute la période de préparation. A tous nos enseignants et au personnel du département Génie des procédés, Université de BOUIRA.

Nous ne saurons oublier nos remerciements à tous les techniciens et les ingénieurs de laboratoire GP.

Enfin, nous présentons nos remerciements, nos respects et nos gratitudes à tous ceux qui nous ont aidé et assisté durant nos études.

« Merci à tous »

Dédicaces

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect et la reconnaissance. C'est tout simplement que nous dédions, très

chaleureusement, ce modeste travail à :

Etre que nos sont les plus chers, à la lumière de nos jours, la flamme de nos cœurs, La source de nos efforts, de nos vie et bonheur;

Tous ceux qui de près ou de loís ;

Tous qui sont contribués à l'élaboration de ce travail.

Sommaire

Listes des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale.....1

Partie bibliographique

Chapitre I : Généralités sur les eaux usées

I.1. Introduction.....	3
I.2. Généralités sur la pollution de l'eau.....	3
I.2.1. Définition	3
I.2.2. Types de pollution de l'eau.....	3
I.2.2.1. Pollution physique.....	3
I.2.2.2. Pollution chimique.....	4
I.2.2.3. Pollution microbiologique.....	5
I.3. Les eaux usées et leurs origines.....	6
I.3.1. Définition.....	6
I.3.2. Origine des eaux usées.....	6
I.3.2.a. Origine domestique.....	6
I.3.2.b. Origine industriel.....	6
I.3.2.c. Origine agricole.....	7
I.3.2.d. Eaux de ruissellement.....	7
I.4. Gestion des eaux usées (réseaux d'assainissement).....	7
I.5. Caractéristiques des eaux usées.....	9
I.5.1. Les paramètres physico-chimiques.....	9
I.5.2. Les paramètres microbiologiques.....	11
I.5.3. Les paramètres organoleptiques.....	13
I.5.4. Les substances chimiques indésirables.....	13
I.5.5. Les produits chimiques toxiques.....	13
I.6. Normes des eaux usées.....	14

I.7. Impacts du rejet d'eaux usées non traitées.....	14
--	----

Chapitre II : Procédés d'épuration des eaux usées par boues activées

II.1. Introduction	16
II.2. Les grandes étapes de traitement	16
II.2.1. Les prétraitements	16
II.2.2. Les traitements primaires (facultatif)	17
II.2.3. Les traitements secondaires	17
II.2.3.1. Principe général	17
II.2.3.2. Les procédés de l'épuration biologique	19
II.2.4. Les traitements tertiaires (facultatifs)	20
II.2.5. Traitement et élimination des boues	20
II.3. Procédé d'épuration biologique à boues activées (PBA)	23
II.3.1. Principe de fonctionnement du PBA	23
II.3.2. Description d'une STEP à BA	23
II.3.2.1. Un système de prétraitement	23
II.3.2.2. Un bassin d'aération	23
II.3.2.3. Un clarificateur (décanteur secondaire)	24
II.3.3. Avantages et inconvénients du PBA.....	26
II.4. Origine et nature des boues biologiques	27
II.4.1. Origine des boues biologiques.....	27
II.4.2. Nature des boues biologiques.....	28
II.5. Différentes formes d'installation des bassins à BA	28
II.5.1. Procédé conventionnel	29
II.5.2. Alimentation étagée	29
II.5.3. Contact-stabilisation	29
II.5.4. Boues activées à mélange complet	30
II.6. La biomasse épuratrice	30
II.6.1. Les microorganismes associés à l'épuration.....	30
II.6.1.a. Les bactéries épuratrices	30
II.6.1.b. La microflore	31
II.6.1.c. La microfaune	31

II.6.2. Les éléments nécessaires au développement des micro-organismes : substrats	31
II.7. Principe de la nutrition bactérienne	32
II.8. Mécanisme d'élimination de la matière organique (MO)	33
II.8.1. Elimination de la pollution azotée	33
II.8.2. Elimination de la pollution carbonée	34
II.8.3. Déphosphatation biologique	35
II.9. Problèmes biologiques dans le PBA	36

Partie expérimentale

Chapitre III : Matériels et méthodes

III.1. Introduction	36
III.2. Présentation du pilote à boues activées (BA)	36
III.3. Préparation des boues	37
III.3.1. Lavage des boues	37
III.3.2. Réactivation des boues	37
III.4. Etude la cinétique de croissance	40
III.4.1. Dispositif expérimental	41
III.4.2. Analyse de la croissance bactérienne	42
III.5. Traitement le bleu de méthylène par le PBA	46
III.5.1. Généralité sur le bleu de méthylène (BM)	46
III.5.2. Description de fonctionnement du PBA	48
III.5.3. Echantillonnage des eaux	48
III.5.4. Mis en œuvre le pilote à BA	48
III.5.5. Méthodologies : Analyses et modes opératoires	50
III.5.5.1. Analyse physico-chimique.....	50
III.5.5.2. Paramètre de fonctionnement d'un bioréacteur	53

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV.1. Introduction	55
IV.2. Etude de la croissance bactérienne	55
IV.3. Réactivation des boues	58
IV.4. Analyse des paramètres physico-chimiques	59

IV.4.1. Variation de la température	59
IV.4.2. Variation de pH	60
IV.4.3. Variation de la conductivité électrique CE	61
IV.4.4. La turbidité	62
IV.4.5. Variation des MES	63
IV.4.6. Variation des MVS	64
IV.4.7. Evolution de la dégradation de BM	65
IV.4.8. Evolution de la DBO ₅	66
IV.5. Paramètres de fonctionnement d'un bioréacteur	67
IV.5.1. Evolution de la charge massique	67
IV.5.2. La Charge Volumique Cv	68
IV.5.3. Evolution de L'indice de Mohlman et l'indice de Boue	69
Conclusion générale	72
Références bibliographiques	73

Liste des figures

Figure I.1 : Schéma d'un réseau unitaire.....	8
Figure I.2 : Schéma d'un réseau séparatif.....	8
Figure I.3 : Schéma d'un réseau pseudo-séparatif.....	9
Figure II.1 : Principe de l'épuration biologique.....	17
Figure II.2 : Mécanisme de l'oxydation biologique aérobie.....	18
Figure II.3 : Mécanisme de la digestion anaérobie des boues.....	19
Figure II.4 : Schéma simplifié les étapes de traitement des eaux usées.....	21
Figure II.5 : Configuration du procédé de traitement par boues activées.....	22
Figure II.6 : Principe de fonctionnement d'un clarificateur raclé.....	24
Figure II.7 : Clarificateur à pont suceur.....	24
Figure II.8 : Les différents types d'installation à boues activées.....	28
Figure II.9 : Schéma de principe de la nutrition bactérienne.....	32
Figure II.10 : Les étapes de la métabolisation de la pollution azotée.....	33
Figure III.1 : Schématisation de pilote de traitement biologique à boues activée.....	37
Figure III.2 : Mesures directes : Dénombrement des bactéries après culture.....	43
Figure III.3 : Principe des techniques d'étalement en surface et en profondeur.....	44
Figure III.4 : Courbe d'étalonnage.....	48
Figure IV.1 : Courbe de développement d'une culture bactérienne.....	57
Figure IV.2 : Variation de MES et MVS pendant la réactivation de la boue.....	58
Figure IV.3 : Variation journalière de la température de l'eau brute et de l'eau épurée.....	60

Figure IV.4 : Variations des valeurs de pH d'une eau brute et épurée.....	61
Figure IV.5 : Variation des valeurs de conductivité d'une eau brute et épurée.....	62
Figure IV.6 : Variation de la turbidité en fonction du temps.....	63
Figure IV.7 : Variation journalière de la concentration des MES.....	64
Figure IV.8 : Variation de la concentration des boues (exprimée en MVS) dans le bassin d'aération et décanteur.....	65
Figure IV.9 : Variation de BM en fonction du temps.....	66
Figure IV.10 : Variation journalière de la demande biologique en oxygène (DBO ₅).....	67
Figure IV.11 : Variation de charge massique (C _m) dans le bassin d'aération.....	68
Figure IV.12 : Variation de la charge volumique dans le bassin d'aération.....	69
Figure IV.13 : Variation de l'indice de Boue et l'indice de Mohlman.....	70

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Quelques bactéries pathogènes responsables d'infections d'origine hydrique.....	5
Tableau I.2 : Quelques exemples de virus pathogènes responsables d'infections hydrique.....	5
Tableau I.3 : Quelques exemples de microorganismes et leur concentration dans les eaux usées.....	12
Tableau I.4 : Les normes Algérienne de rejet des eaux usées dans un milieu récepteur.....	14
Tableau II.1 : Les avantages et les inconvénients du PBA à faible ou très faible charge.....	25
Tableau II.2 : Les avantages et les inconvénients du PBA à moyenne et forte charge.....	26
Tableau III.1 : Composition de solution d'oligo-élément de boues.....	42
Tableau III.2 : Présente les propriétés physico-chimiques du bleu de méthylène.....	46
Tableau III.3 : Absorbances des solutions du bleu de méthylène en fonction de leurs Concentrations.....	47
Tableau IV.1 : Représente les résultats de la cinétique de croissance bactérienne.....	56
Tableau IV.2 : Valeur de l'indice de Mohlman et l'indice de boue.....	69

Liste des notations et des abréviations

BA : Boues Activées.

BM : Bleu de Méthylène.

CE : Conductivité Electrique.

C_m : Charge massique.

C_v : Charge volumique.

COV : Composés Organique Volatiles.

DBO₅ : Demande Biologique en Oxygène pendent 5 jours.

DCO : Demande Chimique en Oxygène.

ER : Eau Résiduaire.

EU : Eau Usée.

GN : Gélose Nutritive.

IB : Indice de Boues.

IM : Indice de Mohlman.

MES : Matière En Suspension.

MO : Matière Oxydable.

MS : Matière Sèche.

MVS : Matière Volatile en Suspension.

PBA : Procédé à Boues Activées.

Q_E : Débit d'entrée.

Q_{EX} : Débit d'extraction des boues.

Q_R : Débit de recyclage des boues.

Q_S : Débit de sortie.

STEP : Station de Traitement des Eaux Polluées.

Une consommation régulière d'eau est indispensable à toute forme de vie. L'eau est également utilisée pour la fabrication de produits (industrie, agriculture, élevage,...) et elle est de plus en plus utilisée. Après utilisation, la plus grande partie de l'eau est transformée en eau usée contenant beaucoup de matière polluée. Si elle n'est pas traitée avant évacuation dans le milieu récepteur, elle va polluer les autres sources d'eau naturelle, affectant l'approvisionnement en eau potable. Par conséquent, le traitement des eaux usées est très important.

De nos jours, les eaux usées doivent être épurées avant d'être renvoyées vers les milieux récepteurs (rivières et mers) où elles réintègrent le cycle de l'eau, afin de préserver la santé publique et l'environnement. A ce stade, ces eaux doivent répondre à des normes de qualité fixées par les autorités responsables de la gestion des ressources en eau.

Nous verrons que les systèmes d'épuration rassemblent une série de dispositifs empruntés successivement par les eaux usées, chacun est conçu pour extraire tour à tour les différents polluants contenus dans les eaux. Ces dispositifs peuvent être composés d'un : prétraitement (dégrillage grossier et fin, dessablage et déshuilage), traitement primaire consistant en une décantation, traitement secondaire (dit traitement biologique) associés à une seconde décantation, traitement tertiaire suivi par traitements des boues formées [1].

Les procédés d'épuration des eaux sont très nombreux, on distingue essentiellement : les procédés à cultures libres (boues activées et lagunage naturel) où les microorganismes épurateurs sont présents librement dans l'eau et les procédés à cultures fixées (lits bactériens et disques biologiques) où les microorganismes sont fixés sur un support solide [2].

Dans le cadre général de notre étude, nous nous intéresserons à un système d'épuration des eaux usées qui prend de plus en plus d'ampleur dans le monde : il s'agit du procédé à boues activées.

Les premiers procédés par boues activées ont été conçus par les Anglais Arden et Lockett à Manchester en 1913. Cette technique ne s'est pas développée immédiatement en Europe, mais les Etats-Unis l'ont utilisée dès 1918. Elle est réapparue en Europe après la guerre de 1939-1940. De constantes améliorations ont ensuite été apportées depuis les années 1980 car la pollution organique n'est plus la seule à être éliminée. Le sont également les pollutions azotée et phosphorée [3].

Le principe général de PBA consiste à cultiver des microorganismes principalement aérobies, capables de consommer la pollution organique contenue dans les effluents. Les bassins d'aération sont des écosystèmes très complexes contenant des bactéries filamenteuses ou non filamenteuses, des protozoaires et des métazoaires. Cette microfaune est mise en contact avec de l'eau usée pour former la liqueur mixte qui est ensuite acheminée vers un décanteur où l'on sépare la biomasse de l'eau épurée [3].

Ce travail a eu pour objectif la conception d'un pilote expérimental de traitement à boues activées appliqué à l'élimination et la dégradation d'un colorant organique et analysé leur efficacité. Le bleu de méthylène est pris comme molécule modèle dans ce travail. Il est utilisé dans plusieurs secteurs (chimie, pharmacologie, médecine, biologie, textile,...). Et l'utilisation ignorante de cette substance engendre des causes graves sur la santé humaine et l'environnement.

Nous avons décomposé notre travail comme suit :

I. L'étude bibliographique est composée essentiellement de deux chapitres :

Nous avons présenté dans le premier chapitre des généralités sur les eaux usées, dans laquelle sont introduites toutes les notions et les définitions sur la pollution des eaux et leurs classification, la définition des eaux usées et ses origines, les paramètres de pollution caractérisent les eaux usées, et quelques normes et impacts des eaux usées sur l'environnement et la santé. Au deuxième chapitre, une présentation et description des procédés d'épurations des eaux usées par boues activées sont donnés.

II. Partie expérimentale qui est composée de deux chapitres essentiels :

Dans le chapitre 3, nous décrivons l'ensemble des méthodes expérimentales et les différentes techniques analytiques ainsi que le matériel utilisé pour réaliser cette étude. Il est une porte sur la mise au point d'un pilote expérimental accommodé à l'élimination simultanée de la pollution carbonique du bleu de méthylène par de procédé biologique à boues activées. Le chapitre 4, est consacré à la présentation des résultats expérimentaux obtenus ainsi que leurs interprétations.

Enfin, Au terme de cette étude, une conclusion générale est donnée.

I.1. Introduction

La pollution de l'eau est actuellement placée en tête des problèmes de l'environnement car l'eau est une interface entre l'air et le sol donc les dégradations de ces deux milieux. Une eau est dite polluée lorsque son équilibre est modifié de façon durable par l'apport en quantités très importantes des substances plus ou moins toxiques, d'origines naturelles ou issues d'activités humaines. Elle est peut être observée à différents niveaux dont on cite [4] :

- Les nappes ou les sources d'eaux par suite d'infiltration d'eaux usées (Fosses septiques, latrines) ;
- Les eaux de surface: les fleuves, les rivières et les oueds ;
- Les canalisations et les réseaux d'alimentations en eau.

Ce chapitre a pour principal objectif de donner une idée générale sur les origines des eaux usées, leurs caractéristiques, ainsi que les différents réseaux d'assainissements.

I.2. Généralités sur la pollution de l'eau

I.2.1. Définition

La pollution de l'eau peut se définir comme altération des caractéristiques physico-chimiques et biologiques d'un milieu naturel, suite de l'activité humaine, par l'introduction directe ou indirecte de substances physiques, chimiques ou biologiques, en quantité suffisamment importante dans le milieu aquatique [5, 6].

I.2.2. Types de pollution de l'eau

On peut répartir les principales causes de pollution des eaux en trois groupes : physique, chimique et microbiologique [7].

I.2.2.1. Pollution physique

Il s'agit d'une pollution qui se traduit par la présence des particules de taille et de matière très variés dans l'eau, elle est d'origine domestique, essentiellement industrielle. On peut la répartir en trois classes: thermique, radioactive et mécanique [8].

- a. Pollution thermique :** Est défini comme une augmentation ou une réduction nocive des températures normales de l'eau dans les eaux réceptrices causée par l'évacuation des rejets thermiques provenant des installations techniques telles que : les centrales nucléaires, les aciéries, les raffineries de pétrole. Ces rejets thermiques augmentés l'oxydation biologique et diminues la teneur en oxygène dissous [9].
- b. Pollution radioactive :** C'est celle occasionnée par une éventuelle radioactivité artificielle des rejets qui trouvent leur source dans l'utilisation de l'énergie nucléaire sous toutes ces formes : installations et centrales d'exploitation de mine d'uranium, traitement des déchets radioactifs. Les éléments radioactifs s'incorporent dans les molécules des organismes vivants. Plus on s'élève dans la chaîne alimentaire plus les organismes sont sensibles aux rayonnements [8].
- c. Pollution mécanique :** Elle résulte des décharges de déchets et de particules solides apportés par les eaux usées industriels, ainsi que les eaux de ruissellement. Ces polluants sont soit les éléments grossiers soit du sable ou bien les matières en suspension MES [8].

I.2.2.2. Pollution chimique

La pollution chimique de l'eau est due aux déversements de polluants organiques (hydrocarbures, détergents, phénols...) et minérales (métaux lourds, azote, phosphore, cyanure, arsenic...), qui résultant de diverses activités humaines, dans le milieu aquatique. Parmi les différents types de pollution chimique, on distingue [10] :

- La pollution biodégradable : Se traduit par la présence des matières organiques (industries agro-alimentaires) ;
- La pollution toxique : Proviens des activités agricultures, les industries, le stockage de déchets,... ;
- Les pollutions azotées et phosphorées : Il s'agit de l'eutrophisation ;
- La pollution radioactive provenant d'armes nucléaires, de rejets et d'accidents liés aux utilisations civiles de la radioactivité.

I.2.2.3. Pollution microbiologique

La pollution microbiologique correspond à la présence dans l'eau de nombreux micro-organismes pathogènes qui altèrent la qualité sanitaire des eaux de surface, leur présence est principalement liée aux rejets d'eaux usées d'origine fécale. On trouve, généralement :

- Les bactéries (Salmonella, Escherichia Coli,...) ;
- Les virus (Entérovirus, Hépatovirus, Coronavirus,...) ;
- Les protozoaires (Giardia et cryptosporidium) qui représentent sous forme des kystes.

Les tableaux (I.1 et I.2) présentent quelques exemples des bactéries et des virus pathogènes responsables d'infection d'origine hydrique [11].

Tableau I.1 : Quelques bactéries pathogènes responsables d'infections d'origine hydrique.

Bactéries	Infections
Salmonella sp	Fièvres typhoïdes et paratyphoïdes, gastroentérites aiguës.
Shigella sp	Dysenteries, gastroentérites.
Escherichia Coli	Gastroentérites, diarrhées.
Yersinia Enterocolitica	Gastroentérites.
Vibrio Cholerae	Choléra, diarrhées.

Tableau I.2 : Quelques exemples de virus pathogènes responsables d'infections hydrique.

Virus	Infections
Hépatovirus, exemple : hépatite A(1)	Hépatite.
Rotavirus, exemple : rotavirus humains	Gastroentérites, diarrhées.
Coronavirus, exemple : coronavirus humains	Gastroentérites.

I.3. Les eaux usées et leurs origines

I.3.1. Définition

Les eaux usées, aussi appelées eaux résiduaires, sont des effluents liquides chargés de substances minérales, organiques ou biologiques sous une concentration anormale. Elles sont d'origine domestique, industrielle, agricole. Ces dernières provoquant une dégradation de la qualité de l'eau naturelle du milieu récepteur, donc, elles nécessitent un traitement avant leur évacuation dans le milieu récepteur [12, 13].

I.3.2. Origine des eaux usées

I.3.2.a. Origine domestique

Sont des effluents rejetées par les installations collectives (hôpitaux, écoles, habitats...) qui incluent les eaux ménagères (eau de toilettes, eau des cuisines, eau de nettoyage...) et les eaux de vannes (fèces). Elles se caractérisés par [14] :

- De fortes teneurs en matières organiques ;
- Des sels minéraux, dont l'azote et le phosphore ;
- Des détergents ;
- Des germes fécaux.

I.3.2.b. Origine industrielle

Sont des rejets résultants d'une utilisation de l'eau dans les processus (refroidissement, lavage, extraction...) et l'activité de l'usine (chimie, agro-alimentaire, traitement de surface...). La composition de ces eaux dépend notamment des procédés de fabrications, on trouve [14] :

- Les hydrocarbures (raffineries) ;
- Les acides, les bases, les produits chimiques divers (industries chimiques et pharmaceutiques, tanneries) ;
- Les matières radioactives (centrales nucléaires, centre de recherche, hôpitaux) ;

- Les matières organiques et les graisses (industries agro-alimentaires, battoirs et équarrissages) ;
- Les eaux chaudes (circuit de refroidissement des centrales thermiques).

I.3.2.c. Origine agricole

Toutes les eaux sont utilisées dans les activités agricoles (agriculture, élevage, horticole) qui provenant des fermes et des cultures. Elles se caractérisent par [15] :

- De fortes teneurs en sels minéraux (azote, phosphore) qu'il s'agit des fertilisants (engrais) ;
- La présence de produits phytosanitaires notamment les pesticides ;
- La présence des métaux lourds (cuivre, cadmium, zinc) et les agents pathogènes.

I.3.2.d. Eaux de ruissellement

Regroupent les eaux pluviales qui issues des précipitations ainsi celles utilisées pour le lavage des espaces publics (les rues, les trottoirs, les parkings,...). Tout d'abord l'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles), puis, en ruisselant sur les surfaces imperméables dans les zones urbaines. En plus, elle entraîne des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes (huiles de vidange, carburants, résidus de pneus et métaux lourds...) [12, 16].

I.4. Gestion des eaux usées (réseaux d'assainissement)

L'assainissement des eaux usées est une action qui intéresse l'évacuation des eaux usées qui dresser une barrière contre la contamination fécale afin d'assurer la protection des individus, la protection des ressources en eau souterraine et superficielle, la préservation de la qualité du milieu récepteur (sol, cours d'eau, lacs, ... etc). L'assainissement englobe la collecte, le transport et le traitement des effluents urbains. Il existe trois types de réseaux d'assainissement dont deux sont principaux (unitaire et séparatif) [17-19] :

- a. Réseaux unitaires :** Qui recueillant à la fois les eaux usées et les eaux pluviales dans un même et unique canalisation, c'est-à-dire un seul système qui assure l'évacuation de l'ensemble des eaux usées et pluviales.

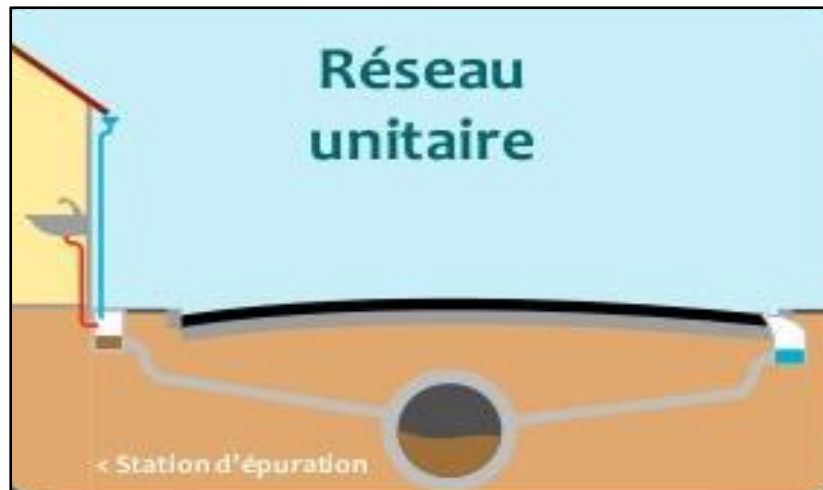


Figure I.1 : Schéma d'un réseau unitaire.

- b. **Réseaux séparatifs** : Comportant deux réseaux de canalisations différentes, l'un pour les eaux usées et l'autre pour les eaux pluviales.

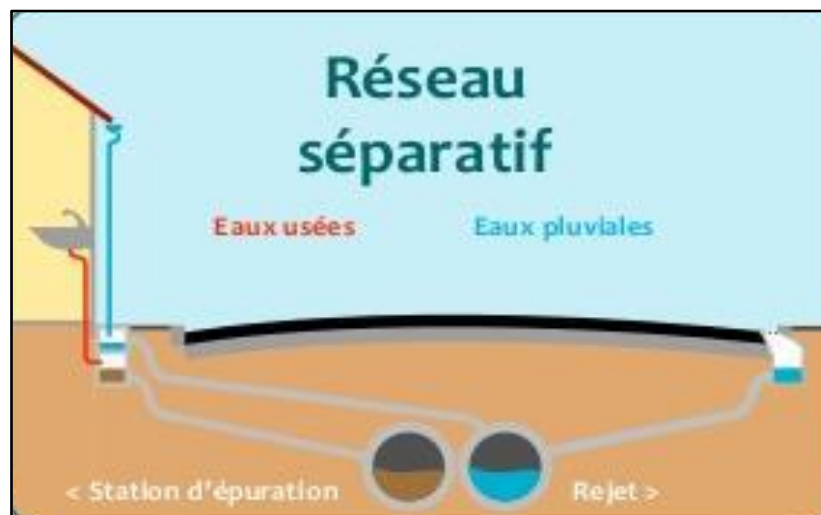


Figure I. 2: Schéma d'un réseau séparatif.

- c. **Réseaux pseudo-séparatifs** : Formés de deux réseaux distincts, l'un pour les eaux usées et les eaux pluviales des toitures, l'autre pour les eaux pluviales provenant des espaces publics (voiries).

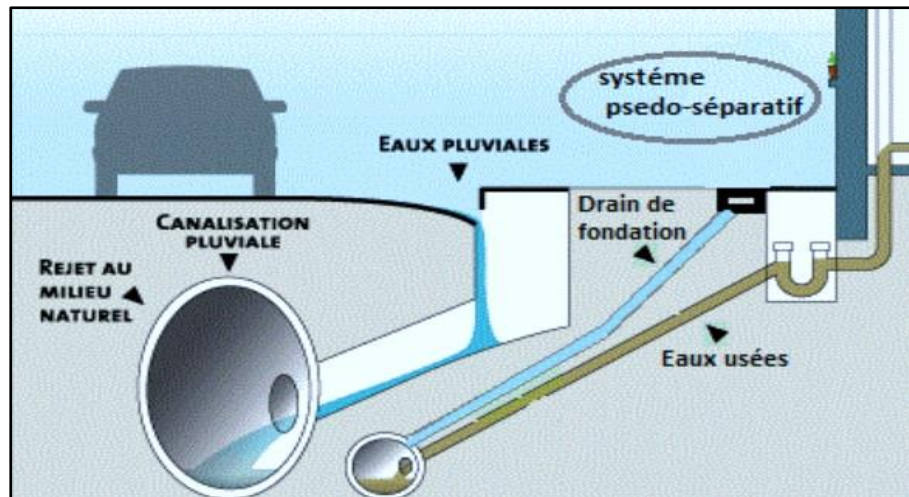


Figure I.3 : Schéma d'un réseau pseudo-séparatif.

I.5. Caractéristiques des eaux usées

D'après l'annexe III de l'arrêté du 11 Janvier 2007, on distingue cinq groupes de paramètres caractérisant une eau [20] :

1. Les paramètres physico-chimiques ;
2. Les paramètres microbiologiques ;
3. Les paramètres organoleptiques ;
4. Les paramètres concernant les substances indésirables ;
5. Les paramètres concernant les substances toxiques.

I.5.1. Les paramètres physico-chimiques

a. La température : La température de l'eau est un facteur physique important dans l'environnement aquatique du fait qu'elle régit la presque totalité des réactions physiques, chimiques et biologiques. Certes, toute variation brusque de ce paramètre entraîne une perturbation dans l'équilibre de l'écosystème aquatique [21].

b. Les matières en suspension (MES) : Représentent la pollution non dissoute dans l'eau. Sont constituées d'une multitude de micro-organismes qui désigne la matière vivante (bactéries, colonies bactériennes, phytoplanctons, zooplancton) et de substances inertes qui désigne la matière non vivante (organismes morts, détritux végétales ou animales, limons, argiles, ... etc). Les MES se divisent en trois groupes :

1. Les matières volatiles se volatilisent lorsque chauffées autour de 105 °C ;
2. Les matières décomposables thermiquement et sont volatilisées lorsque chauffées à 525 °C ;
3. Les matières stables sont la fraction restante de MES.

Les MES sont mesurées par pesée après décantation ou filtration d'un échantillon de volume donné et séchage à 105 °C. La teneur en MES exprimée en mg de résidu séché/L d'eau filtrée [22].

- c. La conductivité électrique (CE) :** La CE désigne la capacité de l'eau à conduire un courant électrique et elle est déterminée par la teneur en substances dissoutes, la charge ionique, la capacité d'ionisation, la mobilité et la température de l'eau. Par conséquent, elle renseigne sur le degré de minéralisation d'une eau. La conductivité est exprimée en $\mu\text{s}/\text{cm}$ [21].
- d. Demande Biochimique en Oxygène (DBO) :** Elle correspond à la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes pour oxyder, biochimiquement ou biologiquement, les matières organiques biodégradables contenues dans l'eau. Elle mesurée par consommation d'oxygène à 20 °C pendant 5 jours, temps qui assure l'oxydation biologique des matières organiques, d'incubation d'un échantillon [19].
- e. Demande Chimique en Oxygène (DCO) :** Représente la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder, chimiquement, les matières oxydables contenues dans l'eau. Elle est mesurée par une solution de dichromate de potassium en présence d'acide sulfurique concentrée et de sulfate d'argent à chaud (150 °C). La DCO et la DBO sont deux paramètres expérimentaux importants pour caractériser la quantité totale de matières oxydables contenues dans l'eau. Sont exprimés en milligrammes par litre (mg/L) [19].
- f. Les matières oxydables (MO) :** Ce paramètre est utilisé pour caractériser la pollution organique de l'eau. Il se définit à partir de la formule suivante [23] :

$$\text{MO} = \frac{2 \text{ DBO}_5 + \text{ DCO}}{3} \quad (\text{I.1})$$

- g. Le Potentiel Hydrogène (pH) :** Ce paramètre mesure la concentration des protons H^+ contenus dans l'eau, et donc l'acidité ou l'alcalinité de l'eau sur une échelle logarithmique de 0 à 14. Il influence la plupart des mécanismes chimiques et biologiques dans les eaux. Habituellement, les valeurs du pH se situent entre 6 et 8,5 dans les eaux naturelles. Il diminue en présence des teneurs élevées en matière organique et augmente en période d'étiage, lorsque l'évaporation est importante [21].
- h. L'oxygène dissous :** Représente la quantité d'oxygène soluble, exprimé en $mg\ O_2/L$, nécessaire pour le maintien la vie aquatique et les phénomènes d'autoépuration dans les cours d'eau. Il dépend, notamment, de la température qui influencer fortement sur la teneur en oxygène dissous [24].

I.5.2. Les paramètres microbiologiques

Les eaux usées contiennent tous les micro-organismes excrétés avec les matières fécales. Cette flore entérique est accompagnée d'organismes pathogènes. L'ensemble de ces organismes peut être classé en quatre grands groupes, par ordre croissant de taille : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes [25].

- a. Les virus :** Sont des organismes infectieux de très petite taille (10 à 350 nm) qui se reproduisent en infectant un organisme hôte, leur concentration estimée dans les eaux usées urbaines est comprise entre 10^3 et 10^4 particules par litre. Les virus entériques sont ceux qui se multiplient dans le trajet intestinal. Parmi les virus entériques humains les plus nombreux, il faut citer les entérovirus, les rotavirus, les rétrovirus, les adénovirus et le virus de l'Hépatite A. Il semble que les virus soient plus résistants dans l'environnement que les bactéries et plus difficiles à éliminer au cours de processus de traitement des eaux usées [25].
- b. Les bactéries :** Sont des organismes unicellulaires simples et sans noyau de taille est comprise entre 0,1 et 10 μm . La quantité moyenne de bactéries dans les fèces est d'environ 10^{12} bactéries/g. Les eaux usées contiennent environ 10^6 à 10^7 bactéries/100ml dont 10^5 proteus et entérobactéries, 10^3 à 10^4 Streptocoques et 10^2 à 10^3 Clostridium. Parmi les plus rencontrées on trouve les Salmonella dont ceux responsables de la typhoïde, des paratyphoïdes et des troubles intestinaux. Pour

contrôler la qualité relative d'une eau on utilise le groupe de coliformes thermo-tolérants comme indicateur de contamination fécale [25].

c. Les protozoaires : Sont des organismes parasites unicellulaires munis d'un noyau, plus complexes et plus gros que les bactéries. Les protozoaires sont représentés dans les eaux usées sous forme des kystes peut résister généralement aux procédés de traitement des eaux usées. Parmi les plus importants du point de vue sanitaire, on citer : Entamoeba Histolytica, Giardia Lamblia [25].

d. Les Helminthes : Sont des organismes parasites multicellulaires, présentes sous forme des œufs dans les eaux usées de concentration peut être évalué entre 10 et 10³ œufs/L. Les œufs d'Helminthes sont très résistants et peuvent survivre plusieurs semaines ou plusieurs mois sur les sols ou les plantes cultivées. Il faut citer, notamment, les Ascaris lumbricoides, les oxyuris vermicularis, les Trichuris trichuria, les Taenia saginata [25].

Le tableau (I.3) présente quelques exemples de microorganismes et leurs concentrations dans les eaux usées [25].

Tableau I.3 : Quelques exemples de microorganismes et leur concentration dans les eaux usées.

Microorganismes	Nombre pour 1L d'eau usée	Microorganismes	Nombre pour 1L d'eau usée
1. Les virus : - Rotavirus - Poliovirus	400 à 85000 182 à 492 000	2. Les protozoaires : - Entamoeba Histolytica - Giardia Lamblia - Balantidium- coli	4 125 à 100 000 28 à 52
3. Les bactéries : - Salmonella - Shigella - Campylobacter	23 à 80 000 10 à 10 000 11 à 37 000	4. Les helminthes : - Ascaris - Ancylostoma - Trichuris	5 à 111 6 à 188 10 à 41

I.5.3. Les paramètres organoleptiques

- a. La turbidité :** C'est la réduction de transparence d'un liquide. Elle est causée par la présence de MES, d'origine organique ou minérale, en solution (sables, argiles ou limons, organismes morts, débris végétaux...) qui forment obstacle au passage de la lumière dans l'eau où les particules très fines diffractent la lumière alors que les plus grosses sont absorbées ou réfléchies. En plus, le phénomène d'absorption s'accompagne d'un captage d'énergie lumineuse ce qui contribue à réchauffer l'eau c'est-à-dire lorsque l'énergie lumineuse est absorbée par les particules est convertie en chaleur. La turbidité est exprimée en NTU (Nephelométrie Turbidity Unit) [22].
- b. La couleur :** Une eau pure observée sous une lumière transmise sur une profondeur de plusieurs mètres émet une couleur bleu clair car les longueurs d'onde courtes sont peu absorbées alors que les grandes longueurs d'onde (rouge) sont absorbées très rapidement. La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances en solution. Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration [26].

I.5.4. Les substances chimiques indésirables

Ce sont des substances dont la présence dans l'eau est tolérée, tant qu'elle reste inférieure à un certain seuil tel que les nitrates et les phosphates dont l'origine principale est le lessivage des terres agricoles fertilisées à l'aide d'engrais azotés et phosphatés [27].

I.5.5. Les produits chimiques toxiques

On distingue généralement deux catégories [27] :

- Les sels de métaux lourds : Plomb, mercure, cadmium, chrome,... etc ; présents dans la nature à très petites quantités et dont les rejets industriels chimiques et métallurgiques augmentent la concentration dans les eaux.
- Les hydrocarbures : Les principales sources de pollution des eaux par les hydrocarbures sont les déversements accidentels qui constituent une grave menace pour l'équilibre écologique.

I.6. Normes des eaux usées

Les eaux usées collectées, dans les réseaux urbains ou les eaux usées directement émises par les industries, ne doivent être rejetées dans un milieu récepteur naturel (rivière, lac, littoral marin, ou terrain d'épandage) que lorsqu'elles correspondent à des normes fixes par voie réglementaire.

Le tableau (I.4) comporte les concentrations limites des rejets d'effluents liquides fournies dans le décret exécutif n° 06 -141 et concernant seulement les indicateurs de pollution de rejet des stations d'épuration [28] :

Tableau I.4 : Les normes Algérienne de rejet des eaux usées dans un milieu récepteur.

<i>Paramètres</i>	<i>Valeurs limites</i>	<i>Tolérances*</i>
pH	6,5-8,5	6,5-8,5
Température (°C)	30	30
DBO ₅ (mg O ₂ /L)	35	40
DCO (mg O ₂ /L)	120	130
MES (mg/L)	35	40
NTK (mg/L)	30	40
Composés organiques chlorés (mg/L)	5	7
Phosphore (PT) (mg/L)	10	15
Huiles et graisses (mg/L)	20	30

*Tolérances aux valeurs limites pour anciennes installations.

I.7. Impacts du rejet d'eaux usées non traitées

Le rejet d'eaux usées non traitées ou partiellement traitées dans l'environnement entraîne la pollution des eaux de surface, du sol et des eaux souterraines. Une fois rejetées dans les plans d'eau, les eaux usées sont diluées et transportées en aval ou s'infiltrent dans les aquifères où elles peuvent affecter la qualité (et donc la disponibilité) des approvisionnements en eau douce. Les conséquences du rejet d'eaux usées non traitées ou traitées de façon inadéquate peuvent être classées en trois catégories [29] :

- 1. Effets sur la santé humaine :** Les maladies liées à la présence d'éléments pathogènes sont très répandues dont le choléra et certaines maladies tropicales négligées, telles que la dengue, la dracunculose, la filariose lymphatique, la schistosomiase, ...etc.

- 2. Effets environnementaux :** Le rejet d'eaux usées non traitées dans l'environnement a un impact sur la qualité de l'eau, qui à son tour affecte la quantité des ressources en eau disponibles pour un usage direct. L'eutrophisation, due à l'excès d'azote et de phosphore, peut entraîner des proliférations d'algues potentiellement toxiques et une baisse de la biodiversité. Environ 245 000 km² d'écosystèmes marins sont touchés, ce qui affecte la pêche, les moyens de subsistance et les chaînes alimentaires due à la décharge d'eaux usées non traitées dans les mers et les océans.

- 3. Effets économiques :** Lorsque le rejet d'eaux usées provoque des dommages à l'environnement, des coûts externes sont générés, entraînant la perte des avantages potentiels de l'utilisation des eaux usées. Un argument économique qui milite en faveur de l'amélioration de la gestion des eaux usées est qu'il est possible de réduire au minimum les répercussions négatives qu'elles peuvent entraîner et de maximiser les bénéfices qu'elles peuvent générer. Si les eaux usées sont reconnues comme un bien économique, les eaux usées convenablement traitées peuvent avoir une valeur positive tant pour ceux qui les produisent que pour ceux qui les consomment.

II.1. Introduction

Dans les traitements secondaires ou biologiques des Eaux Usées (EU), les Procédés à Boues Activées (PBA) sont largement utilisés dans les stations d'épuration urbaines et industrielles. Ces procédés biologiques fonctionnent en continu pour produire un effluent conforme aux normes. Les PBA réalisent l'abattement des polluants en deux étapes : la biodégradation par des microorganismes cultivés sous forme de floccs dans un bassin d'aération, et la séparation de la biomasse par décantation [30].

II.2. Les grandes étapes de traitement

L'épuration des EU est un ensemble des procédés successives consistant à éliminer ou réduire la charge polluante qu'elles véhiculent a pour objectif de protection de l'environnement et de la santé humaine [19]. Les procédés mis en œuvre sont généralement classés en :

II.2.1. Les prétraitements

Les EU doivent généralement subir un prétraitement ou traitement préliminaire qui composé d'un certain nombre d'opérations successives, uniquement physiques ou mécaniques. Il est destiné à extraire de l'EU, la plus grande quantité possible d'éléments dont la nature ou la dimension constitueront une gêne pour les traitements ultérieurs. Le prétraitement peut comprendre les opérations suivantes [10, 1] :

- 1. Le dégrillage :** Constitue la première étape de prétraitement. Les EU passent au travers d'une grille dans les barreaux, plus ou moins espacés qui permet de filtrer les déchets trop volumineux entraînés par les eaux s'écoulant dans les canalisations d'assainissement. Les dégrilleurs assurent la protection des équipements et réduisent les risques de colmatage des conduites mises en place dans la station d'épuration ;
- 2. Le dessablage :** Est une opération a pour but d'extraire des UE, par décantation, des particules grenues (sables, graviers, particules minérales) de façon à éviter les dépôts dans les conduites et les canaux, ainsi pour protéger les pompes contre l'abrasion ;
- 3. Le dégraissage-déshuilage :** Se rapporte à l'extraction de toutes matières flottantes d'une densité inférieure à celle de l'eau (huiles, graisses, hydrocarbures,...) pour éviter l'encrassement des ouvrages, les perturbations de l'aération, le départ avec l'eau traitée et les difficultés de traitement des boues en aval.

II.2.2. Les traitements primaires (facultatif)

Le traitement primaire élimine plus de la moitié des matières en suspension et constitue une pré-épuration pour garantir la qualité du rejet en milieu naturel. Il fait appel à différents procédés [10,31] :

- Les procédés physiques consiste en une décantation simple plus ou moins poussée, qui permet d'éliminer 30 à 35% de la DBO₅, 60% de MES et 90% des matières décantables. Ensuite, réduire les risques de colmatage des systèmes de traitement biologique par cultures fixées (lits bactériens, disques biologiques,...) ;
- Les procédés physico-chimique comme la coagulation-floculation sont employés pour éliminer la turbidité d'une eau (clarification) qu'est principalement causées par des particules colloïdales (détergents synthétiques, protéines, savons,...).

II.2.3. Les traitements secondaires

II.2.3.1. Principe général

Les traitements d'épuration secondaires, également appelés traitements biologiques, se basent sur l'activité de microorganismes qui transforment la matière organique, sous forme finement dissoute ou colloïdale, des EU en sous-produits inorganiques, tels H₂O, CO₂, et nouvelles cellules. Les microorganismes responsables de l'épuration utilisent la pollution organique comme substrat nécessaire à la production d'énergie vitale et à la synthèse de nouvelles cellules vivantes.

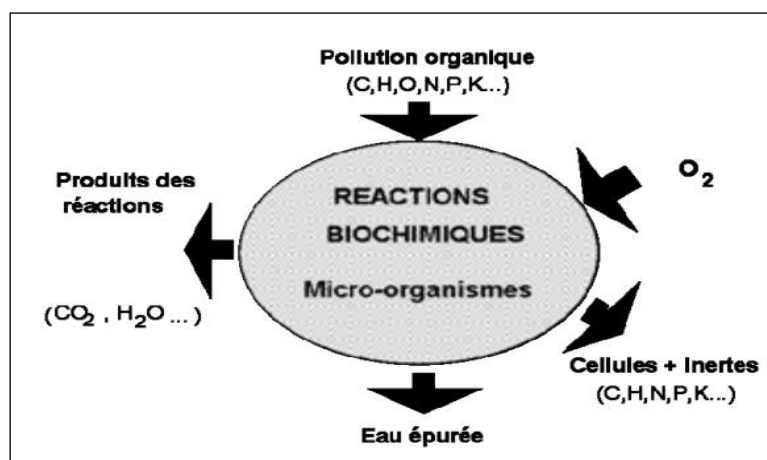


Figure II.1 : Principe de l'épuration biologique.

Pour juger des chances de réussite de l'épuration d'eaux résiduaires (ER) par un procédé biologique, on se sert généralement du rapport DCO/DBO₅. Ainsi, sur la base de ce rapport, on peut établir le classement suivant [1] :

- $\frac{DCO}{DBO_5} < 1,66$: ER susceptibles d'être facilement traitées biologiquement ;
- $1,66 < \frac{DCO}{DBO_5} < 2,50$: ER susceptibles de subir un traitement biologique ;
- $2,50 < \frac{DCO}{DBO_5} < 5$: ER non susceptibles de subir un traitement biologique ou nécessitent une acclimatation préalable des microorganismes impliqués.

L'épuration biologique peut s'effectuer par voie aérobie ou anaérobie. Dans les deux cas ce sont des micro-organismes adaptés au procédé qui se multiplient en absorbant la pollution organique (bactéries hétérotrophes assimilant les matières organiques) [32].

❖ **Voie aérobie**

Au cours de la croissance aérobie, l'énergie prélevée de la transformation du carbone organique, devient une énergie disponible pour la synthèse [32].

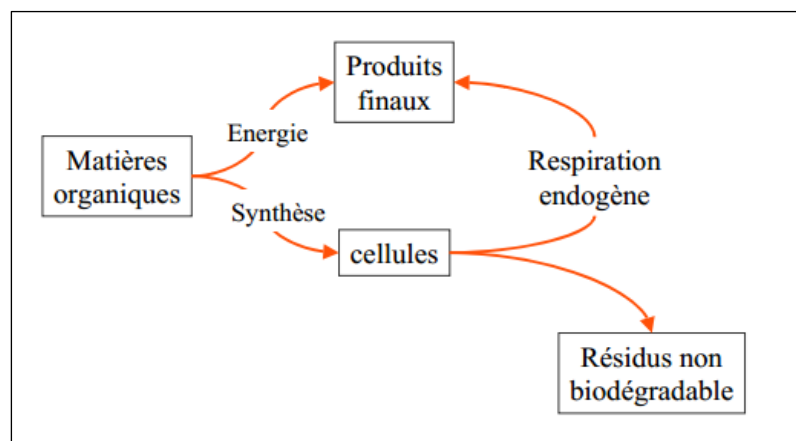


Figure II.2 : Mécanisme de l'oxydation biologique aérobie.

❖ **Voie anaérobie**

La conversion anaérobie des matières solides organiques en sous-produits inoffensifs est très complexe et résulte de multiples réactions comme cela est indiqué sur le schéma ci-dessous [32] :

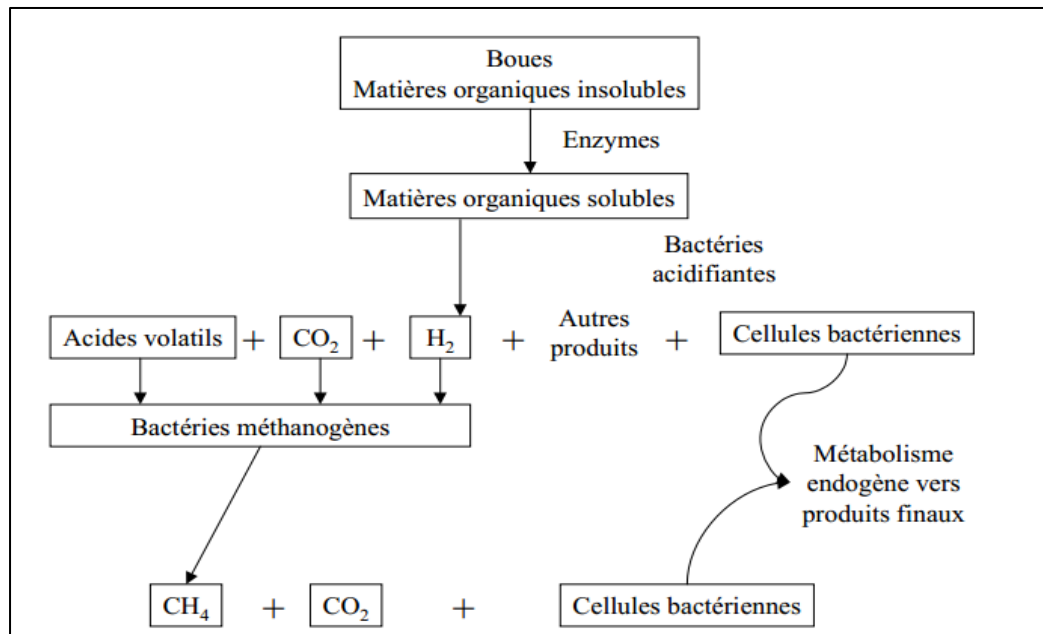


Figure II.3 : Mécanisme de la digestion anaérobie des boues.

II.2.3.2. Les procédés de l'épuration biologique

Les traitements secondaires des ER regroupent tous les procédés d'épuration biologique. Ces procédés impliquent toujours la présence de microorganismes comme acteurs de dépollution des eaux qui dégradent et transforment la pollution organique dissoute et colloïdale contenue dans l'effluent. Ils sont classés en deux grandes catégories [33] :

1. **Les procédés à culture libre** : Où la biomasse bactérienne est maintenue en suspension dans l'eau à traiter. Les cultures libres peuvent être mises en œuvre de manière extensive (lagunage naturel) ou intensive (lagunage aéré et boues activées) ;
2. **Les procédés à culture fixée** : Où la biomasse épuratrice est fixée sur des supports variés que l'on peut classer en :
 - Supports grossiers (lits bactériens, disques biologiques) ;
 - Supports fins (lits d'infiltration, filtres plantés de roseaux ou bio-filtres).

II.2.4. Les traitements tertiaires (facultatifs)

Les traitements tertiaires ou traitements avancés des EU sont des traitements complémentaires qui visent, principalement, l'élimination de certaines substances, telles que les matières nutritives responsables de l'eutrophisation (phosphates, nitrates, azotes), les MES,

les germes pathogènes. Ils permettent d'affiner ou d'améliorer le traitement secondaire. Les procédés de ces traitements sont variés [34, 35] :

- Les procédés physico-chimiques (osmose inverse, désinfection) ;
- Les procédés biologiques pour élimination de l'azote (nitrification, dénitrification) et du phosphore (déphosphoration).

II.2.5. Traitement et élimination des boues

Le traitement des EU effectué au sein d'une STEP produit des boues d'épuration. Ces dernières peuvent être de deux types [36] :

- 1. Les boues primaires :** Qui sont obtenues par simple décantation des EU. Elles sont en général riche en matières minérales (micro-sables, terre,...) et contiennent des composés organiques volatiles (COV) ;
- 2. Les boues biologiques :** Ou boues secondaires qui résultent d'un traitement biologique des EU. Elles sont constituées essentiellement des corps bactériens et de leurs sécrétions.

A la sortie d'une STEP, les boues représentent un volume important, de ce fait, elles sont soumises à des traitements spécifiques afin de réduire leur quantité et leur pouvoir fermentescible. On distingue les étapes suivantes [37] :

- **L'épaississement :** Il a pour but de concentrer les boues afin de faciliter les étapes en aval dans la filière. En général, cette opération s'effectue par simple décantation ou flottation, ou par égouttage et centrifugation ;
- **La stabilisation :** Elle permet de réduire le pouvoir fermentescible des boues ainsi que les potentielles nuisances olfactives. Il existe trois types de procédés peuvent être mis en œuvre : Stabilisation biologique (digestion aérobie ou anaérobie), chimique (chaulage) ou physique (séchage thermique) ;
- **La déshydratation :** Elle consiste à réduire le volume de boues en éliminant un maximum d'eau. Cette étape peut être mécanique (centrifugation, filtre-pressé, table d'égouttage) ou thermique (séchage).

La figure (II.4) représente un schéma de toutes les étapes de traitement des eaux usées.

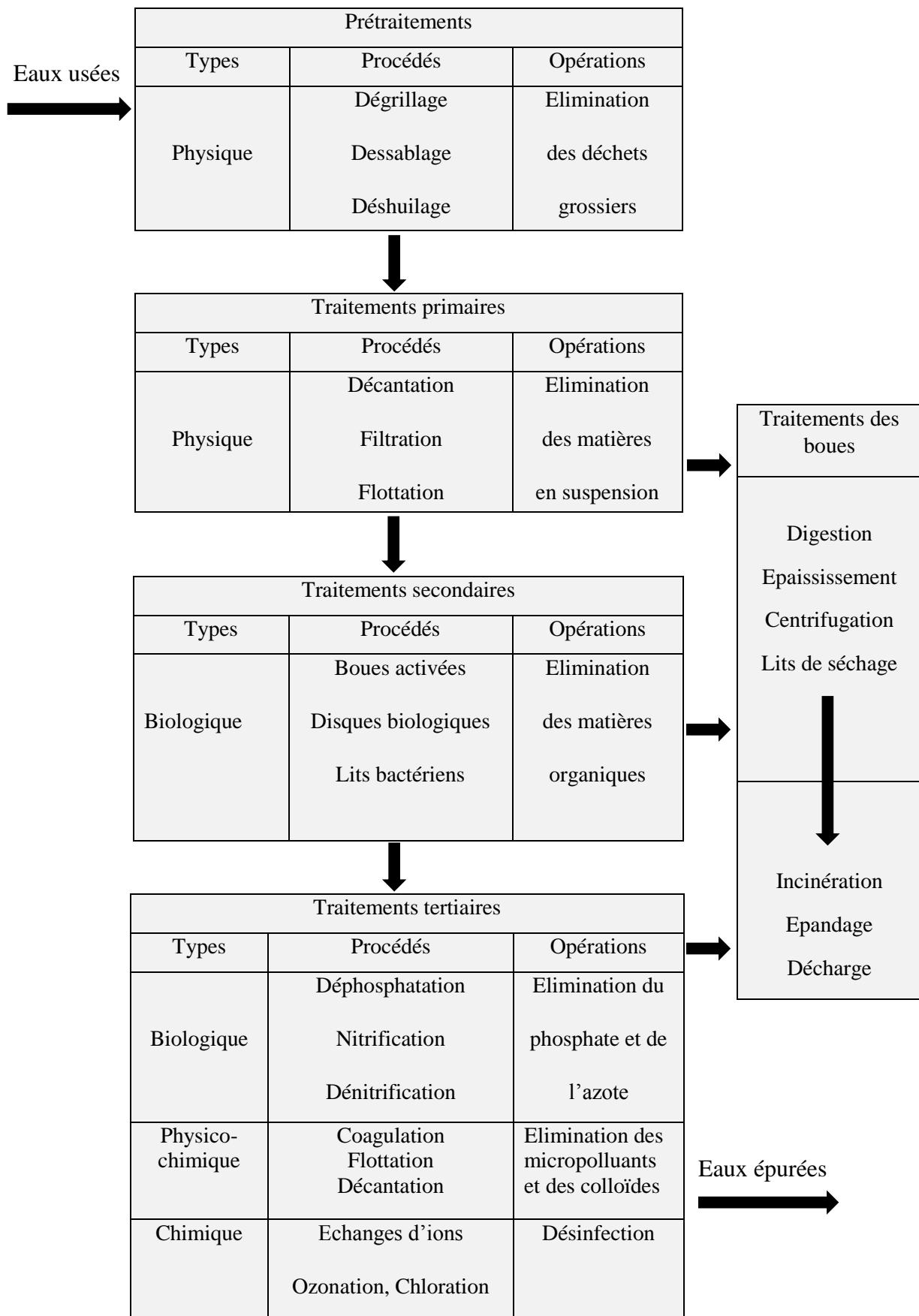


Figure II.4 : Schéma simplifié les étapes de traitement des eaux usées [38].

II.3. Procédé d'épuration biologique à boues activées (PBA)

II.3.1. Principe de fonctionnement du PBA

Le traitement des eaux par le procédé biologique à boues activées (PBA) consiste à favoriser le développement d'une culture bactérienne maintenue en suspension (culture libre) sous forme de floccs dans un bassin d'aération alimenté en eaux usées à traiter. La dégradation se réalise alors par voie aérobie (en présence d'oxygène), elle consiste à transformer les matières organiques biodégradables grâce à l'action de la biomasse. Puis les floccs formés sont séparés de l'eau dans un clarificateur, placé à l'aval d'une STEP [39].

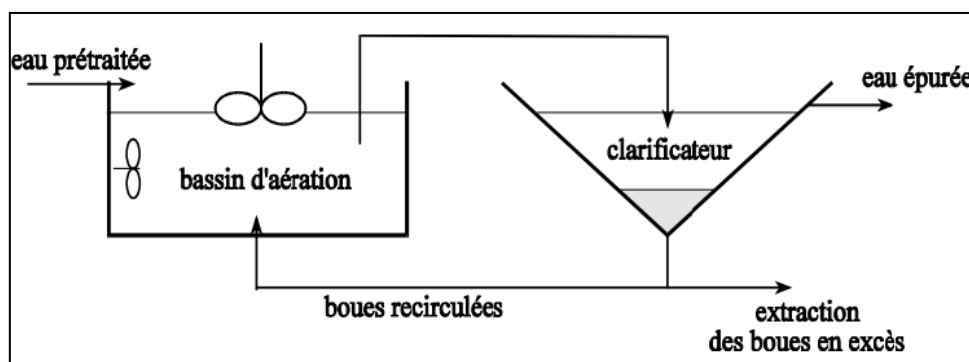


Figure II.5 : Configuration du procédé de traitement par boues activées.

II.3.2. Description d'une STEP à BA

A partir du figure (II.5), la chaîne de traitement des EU par le PBA comprend les éléments suivants :

II.3.2.1. Un système de prétraitement

Ce système permet aux ouvrages en aval de fonctionner avec un maximum de l'efficacité à l'aide de dégrilleur, dessableur, et déshuileur [40].

II.3.2.2. Un bassin d'aération

Le bassin d'aération est le réacteur biologique, se situe en aval du prétraitement et en amont du clarificateur, permet l'épuration biologique de l'eau dans lesquels s'effectue la transformation de la matière organique par les microorganismes. Le temps de contact les EU

et les bactéries est de l'ordre de 24 heures pour obtenir un bon rendement. La concentration de celles-ci est maintenue grâce à la recirculation des boues. Le bassin est aéré et brassé soit par une turbine, soit par un pont-brosse, soit par des diffuseurs d'air [41].

✓ **L'aération et le brassage du bassin**

Les systèmes d'aération ont généralement une double fonction : l'aération mais aussi le brassage du contenu d'un bassin pour maintenir en suspension les microorganismes et permettre les échanges d'oxygène et de matières nutritives entre liquide et bactéries. Il existe trois grandes catégories d'aérateurs pour équiper les bassins à boues activées [42] :

1. Aérateurs mécaniques de surface se divisent en trois groupes : aérateurs à vitesse lente, aérateurs à vitesse rapide et à brosse ;
2. Aérateurs à injection d'air sont réalisés par l'introduction des bulles d'air sur toute la profondeur dans les bassins ;
3. Aérateurs à base de pompes qui sont assez peu utilisés pour l'aération des boues activées. On distingue : systèmes à jets, systèmes à éjecteurs.

II.3.2.3. Un clarificateur (décanteur secondaire)

Se trouve en aval du bassin d'aération. Dans ce dernier, les bactéries ont consommé les pollutions. Le rôle du clarificateur est la séparation, sous l'action de la pesanteur, des boues en suspension et de l'eau traitée. Les eaux épurées sont rejetées dans le milieu et les eaux chargées en MES sont renvoyées en début de chaîne de traitement. Il existe deux principaux types de clarificateurs [43] :

1. **Le clarificateur raclé** : Dans le cas d'un clarificateur raclé, les boues tombées en fond d'ouvrage, sous forme conique de pente comprise entre 10° et 15° , sont poussées mécaniquement par des racles de fond rotatives qui concentrent les matières au centre de l'ouvrage. Les boues sont ensuite pompées vers le silo de stockage ou de centre de traitement. L'eau décantée passe par une surverse en tête de plan d'eau, et se dirige alors vers le canal de comptage.

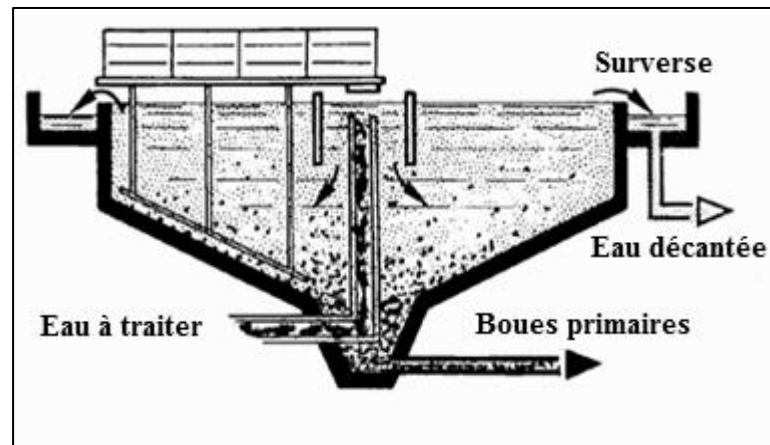


Figure II.6 : Principe de fonctionnement d'un clarificateur raclé.

- Le clarificateur sucé :** Dans ce cas, lorsque le diamètre de l'ouvrage est supérieur à 2 000m, il est préférable de réaliser un clarificateur sucé. Les boues sont aspirées au fond par siphonage. L'inconvénient de cette méthode est le coût plus élevé du pont par rapport à un pont racleur.



Figure II.7 : Clarificateur à pont suceur.

✓ Recyclage des boues

La quantité de biomasse doit rester constante dans le bassin d'aération. Les boues biologiques décantent dans le clarificateur, pour éviter toute fermentation dans cet ouvrage non aéré et maintenir une biomasse stable, il faut les recycler à partir du clarificateur vers le bassin d'aération. Le but de la recirculation des boues du ou des décanteurs secondaires vers le réacteur biologique est d'y maintenir une concentration donnée de la liqueur mixte permettant de respecter une charge massique de fonctionnement considérée ou, ce qui revient au même, un

âge des boues bien défini et d'éviter conséquemment l'accumulation et le débordement du lit de boues dans les décanteurs [44].

✓ **Extraction des boues**

La station d'épuration produit en permanence des boues dont l'excès doit être évacuée à intervalles réguliers pour garantir un bon fonctionnement du système. En effet, l'extraction permet de maintenir une quantité de MES nécessaire et suffisante afin d'obtenir une qualité d'épuration optimale. Ces boues, principalement constituées d'eau (> 97 %, le plus souvent) représentent des volumes importants que la filière de traitement des boues va s'attacher à réduire autant que faire se peut, afin d'abaisser les coûts d'évacuation de ces sous-produits de l'épuration [45].

II.3.3. Avantages et inconvénients du PBA

- **Procèdes à faible charge ou très faible charge :** Ces procédés sont utilisés pour le traitement des effluents à caractère domestique dominant de petites et moyenne collectivités. Le tableau (II.1) regroupe les avantages et les inconvénients du procédé à boue activée à faible ou très faible charge [42].

Tableau II.1 : Les avantages et les inconvénients du PBA à faible ou très faible charge.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ▪ assure une bonne élimination de DBO₅. ▪ les boues produites sont minéralisées. ▪ Résiste mieux aux fluctuations de charge polluante. ▪ l'exploitation de telles stations est très simplifiée. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ le temps de séjour dans le bassin. ▪ les boues sont plus concentrées d'où la décantation dans le clarificateur est lente, il faut prévoir une surface plus importante. ▪ investissement coûteux. ▪ le bassin d'aération, plus largement dimensionné. ▪ nitrification très avancée (transformation de l'azote ammoniacale en nitrate).

- **Procédés à moyenne et forte charge :** Le procédé à moyenne et forte charge est consacré au traitement des effluents des collectivités de grandes importances. Les avantages et les inconvénients sont donnés dans le tableau (II.2) [42].

Tableau II.2 : Les avantages et les inconvénients du PBA à moyenne et forte charge.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ▪ la dimension du bassin d'aération et du clarificateur est plus réduite (investissements moins coûteux). ▪ la consommation énergétique du poste aération est plus faible. ▪ un temps de contact relativement court entre l'eau à épurer et les boues activées. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ le rendement d'élimination de DBO₅ est plus faible. ▪ la nitrification est incomplète ou difficile. ▪ le bassin d'aération est précédé d'un décanteur primaire.

II.4. Origine et nature des boues biologiques

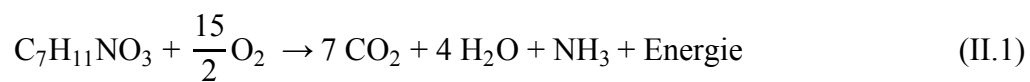
II.4.1. Origine des boues biologiques

La boue biologique produite ou biomasse provient principalement de la dégradation des matières carbonées, azotées et phosphorées. En effet, tous les procédés biologiques sont basés sur les activités métaboliques naturelles des organismes impliqués. Ces activités, reliées à la croissance et à la survie de ces organismes, se divisent principalement en deux classes :

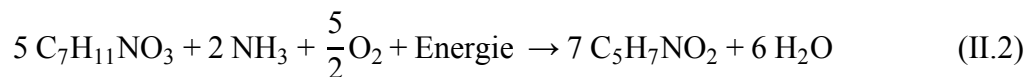
- **L'anabolisme :** Cette partie du métabolisme biologique qui est responsable de la croissance. Son activité consiste à transformer des composés simples et non-viables en des constituants de cellules actives.
- **Le catabolisme :** Fournit l'énergie nécessaire pour les activités anaboliques et pour le maintien des fonctions vitales. Son mécanisme consiste donc à détruire le substrat pour en retirer l'énergie et la rendre disponible pour la cellule. Les déchets issus du catabolisme en conditions aérobies sont des substances minérales comme le CO₂ et le NH₃.

Lorsqu'un substrat métabolisable, donc biodégradable, est disponible dans le milieu, les cellules l'utilisent comme source de matière organique pour les activités cataboliques et anaboliques. Par contre, si un tel substrat n'est pas présent en quantité suffisante, les cellules utilisent plutôt les substances de réserve qui se sont accumulées en période bien précise (charge massique faible), on parle alors de métabolisme endogène. Les processus sont décrits par les équations suivantes qui résument le cycle de production de boue qui obéit à trois réactions fondamentales [46] :

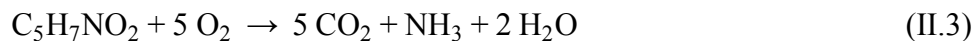
- Réaction de catabolisme : production d'énergie



- Réaction d'anabolisme : synthèse de la matière vivante



- La troisième réaction concerne l'auto-oxydation ou respiration endogène qui est une réaction de minéralisation de la matière vivante.



II.4.2. Nature des boues biologiques

Les boues comprennent une fraction minérale et une fraction organique. La fraction minérale est essentiellement composée de particules et de cations multivalents comme les silicates, les oxydes de fer ou le phosphate de calcium, tandis que la fraction organique est plutôt composée de gros polymères (cellulose, lignine, d'hydrocarbures lourds), de macromolécules, de biomolécules (protéines, sucres), d'acides humiques, d'une fraction lipidique et d'environ 70 % de micro-organismes (virus, majorité de bactéries, protozoaires, métazoaires). En résumé, une boue biologique est composée de 50 % de protéines, 5 % de lipides, 15 % de polysaccharides et 30 % divers [46].

II.5. Différentes formes d'installation des bassins à BA

Plusieurs configurations de bassins d'aération dans le cas du procédé par boues activées peuvent être mises en œuvre que nous représentons dans la figure (II.8) [47] :

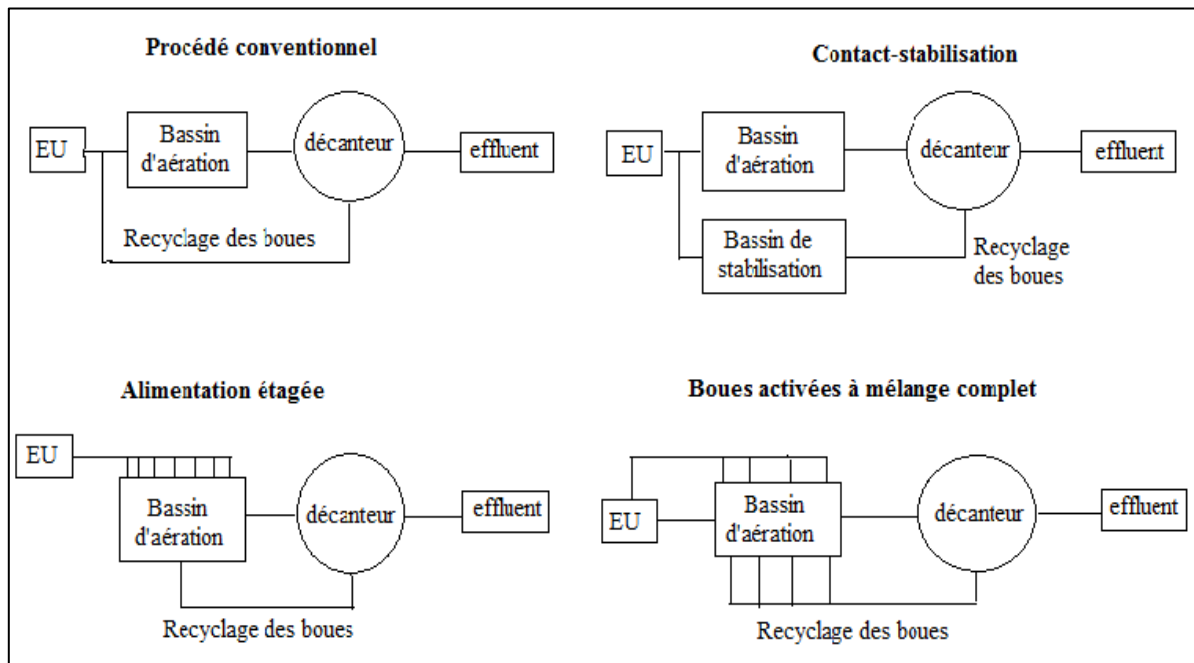


Figure II.8 : Les différents types d'installation à boues activées.

II.5.1. Procédé conventionnel

Les bassins d'aération ont été conçus sous la forme de canaux profonds où le flot se déplaçait en piston d'une extrémité à l'autre. Les boues activées recyclées et les eaux brutes à traiter étaient amenées en tête et le départ de la liqueur mixte vers le clarificateur s'effectuait en queue. Ce système traditionnel dit à flux piston présente l'avantage de fournir généralement une bonne qualité d'eau et de favoriser la nitrification. Par contre, il provoque une consommation d'oxygène accrue en tête de bassin due à l'introduction ponctuelle de toute la masse polluante [47].

II.5.2. Alimentation étagée

Ce procédé répartissant les arrivées d'eau à traiter sur toute la longueur du bassin et en proportionnant l'aération à la demande en oxygène, enfin en améliorant la circulation

hydraulique dans les bassins d'aération comportant chacun un certain nombre de canaux accolés fonctionnant en série. C'est ce qu'on nomme STEP-aération [47].

II.5.3. Contact-stabilisation

Poussant plus loin ces principes, le procédé dit de contact stabilisation et ses dérivés consistent à n'introduire l'eau décantée qu'après une importante réactivation des boues recyclées. Durant un temps de contact relativement court (15 à 60 min) des boues activées avec les eaux d'alimentation, les matières organiques sont éliminées par absorption et adsorption sur les floccs biologiques [47].

II.5.4. Boues activées à mélange complet

Des études biologiques ainsi que l'application des principes des fermentations industrielles, ont montré que la meilleure manière d'utiliser les possibilités des cultures bactériennes constituant les boues activées était de concevoir les bassins d'aération sur le principe du mélange intégral. Un des inconvénients du mélange intégral est qu'il installe des conditions favorables de compétition biologique pour les microorganismes filamenteux responsables des phénomènes de mauvaise décantabilité sur de nombreuses installations [47].

II.6. La biomasse épuratrice

II.6.1. Les microorganismes associés à l'épuration

Sont classés en trois groupes principales : les bactéries épuratrices, la microflore et la microfaune.

II.6.1.a. Les bactéries épuratrices

Dans la biomasse épuratrice, les bactéries constituent le groupe le plus important, qui est en même temps l'acteur principal de l'élimination de la pollution. Les bactéries peuvent se présenter sous différentes formes [48] :

- **Bactéries libres** : Peu abondantes du fait de la prédation par d'autres microorganismes;

- **Bactéries filamenteuses** : Présentes normalement en petite quantité, elles entravent la décantation par le phénomène de foisonnement, parmi ces bactéries indésirables : *Sphaerotilus natans* et *Thriothrix nivea* ;
- **Bactéries floculées** : Plus intéressantes dans le procédé d'épuration car elles permettent une bonne séparation entre la biomasse épuratrice et l'eau épurée. Les genres les plus fréquents de bactéries floculantes sont : *Pseudomonas*, *Actrobacter*, *Arthrobacter*, *Alcaligenes*, *Zooglea*,...etc.

II.6.1.b. La microflore

Des algues benthiques se développent à la périphérie des installations. Des cellules sont entraînées dans les boues et dans les fibres nitrifiantes par abrasion du biofilm, on peut mettre en évidence au microscope des frustules de diatomées. Toutefois, elles ne jouent pas de rôle en épuration par les procédés de boues activées ou biofiltration, contrairement au cas du lagunage. Les espèces les plus courantes sont des algues planctoniques unicellulaires de petite taille, dont des algues vertes, des algues brunes, des phytoflagellés et des diatomées [48].

II.6.1.c. La microfaune

La microfaune des boues activées et des biofilms des cultures fixées est très importante en quantité, de l'ordre de 10^6 à 10^8 cellules par litre de boues activées. Elle intervient comme prédatrice des bactéries isolées et des cadavres de bactéries et participe ainsi à la clarification de l'effluent, comme elle est particulièrement sensible aux variations du milieu. Selon l'organisation cellulaire des microorganismes, on distingue deux familles d'individus : les protozoaires et les métazoaires [48].

II.6.2. Les éléments nécessaires au développement des micro-organismes : substrats

Le terme « substrat » désigne les substances constituant la nourriture nécessaire au développement des micro-organismes, les composés organiques à dégrader représentant la majorité de ces substances. Si le substrat n'est pas sous une forme directement assimilable par la bactérie, il sera hydrolysé à l'extérieur de la cellule bactérienne par des exo-enzymes. L'azote ammoniacal et les phosphates sont utilisés en tant que nutriments car ils entrent dans la composition des composés cellulaires (protéines, membrane cellulaire, ADN). L'oxygène dissous est également indispensable au développement des bactéries aérobies. Suivant la

composition de l'effluent à traiter, il sera nécessaire de rajouter l'un ou plusieurs de ces composants afin de favoriser le métabolisme des bactéries (cas des effluents papetiers particulièrement pauvres en matières azotées contrairement aux effluents urbains) [49].

II.7. Principe de la nutrition bactérienne

Les systèmes de traitement des eaux usées utilisent la dégradation microbienne comme principal moyen pour dégrader les matières organiques. Cette biodégradabilité est un phénomène complexe qui concerne toutes les transformations des polluants dans les eaux sous l'action de microorganismes. La nutrition des microorganismes peut se décomposer en cinq phases [50] :

- **La phase de transport** : Permet d'amener les substrats solubles et insolubles depuis le liquide jusqu'à la surface de la bactérie ;
- **La phase d'adsorption** : Les substrats insolubles (les particules, les colloïdales, les grosses molécules) sont adsorbés à la surface de la bactérie pour être décomposés ;
- **La phase de prédigestion** : C'est la décomposition, après l'adsorption, des substrats complexes par des enzymes de surface pour réduire les dimensions des molécules, on l'appelle hydrolyse par des exo-enzymes. Finalement, l'insoluble devient soluble ;
- **La phase de perméation ou franchissement de la membrane cellulaire** : Cette étape permet la diffusion des substrats solubles à l'intérieure de la cellule à travers la membrane cellulaire ;
- **La phase de métabolisation** : Cette étape beaucoup plus lente que les autres, elle se divise en trois parties :
 - ✓ Anabolisme, assimilation ou production qui est l'utilisation des substrats pour la synthèse de nouvelles cellules ;
 - ✓ Catabolisme, dissimilation ou respiration qui permet la combustion des substrats afin de libérer l'énergie nécessaire aux microorganismes pour assurer leurs fonctions vitales ;
 - ✓ Respiration endogène au cours de laquelle les microorganismes utilisent leur propre matière en guise de substrat.

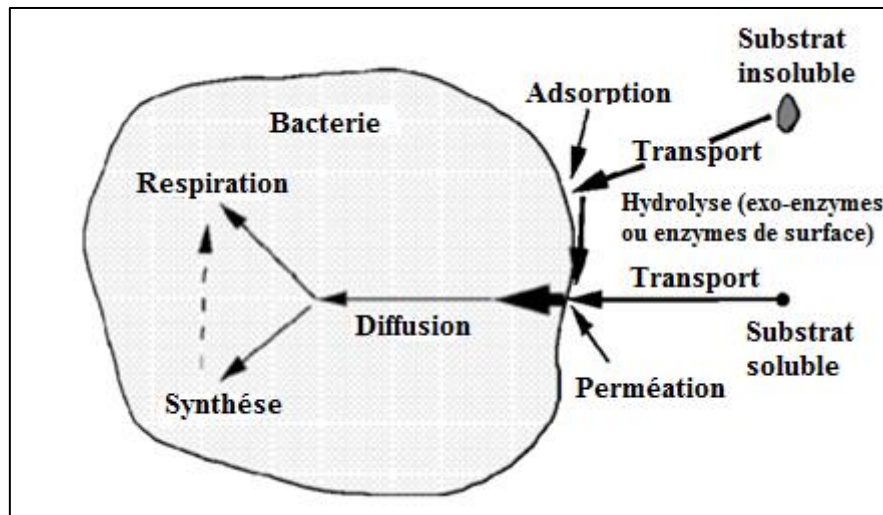


Figure II.9 : Schéma de principe de la nutrition bactérienne.

II.8. Mécanisme d'élimination de la matière organique (MO)

En général, les BA (culture mixte de microorganismes) utilisant la pollution carbonée, azotée et phosphorée comme source d'énergie pour leur croissance.

II.8.1. Elimination de la pollution azotée

Dans l'eau, l'azote se trouve en solution sous forme combinée ; nitrates (NO_3^-), nitrites (NO_2^-), azote ammoniacal (NH_3 , NH_4^+), et azote organique. Dans les eaux résiduaires urbaines ainsi que dans de nombreuses eaux résiduaires industrielles, l'azote est essentiellement présent sous forme organique et ammoniacale. La dégradation de l'azote par voie biologique repose sur les étapes suivantes [44, 27] :

- **L'ammonification** : Il s'agit de la transformation de l'azote organique en azote ammoniacal, réalisée par des réactions de type : hydrolyse, désamination oxydative et désamination réductive;
- **L'assimilation** : Il s'agit de l'utilisation d'une partie de l'azote ammoniacal pour synthèse cellulaire ;
- **La nitrification** : C'est la transformation de l'azote ammoniacal en nitrate. Cette transformation est réalisée en deux étapes :
 - **La nitritation** : C'est l'oxydation de l'azote ammoniacal (NH_4^+) en azote nitreux (NO_2^-) par des bactéries autotrophes du genre *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus* ou *Nitrospira*. La transformation chimique de l'azote ammoniacal s'écrit par l'équation suivante :



- **La nitrification** : C'est l'oxydation du nitrite (NO_2^-) formés lors de l'étape de nitrification en nitrates (NO_3^-) par des bactéries du genre Nitrobacter, selon la réaction suivante :



- **La dénitrification** : Consiste la réduction des nitrates en azote gazeux par des bactéries Hétérotrophes du genre Pseudomonas en l'absence d'oxygène dissous avec présence de nitrates. La réaction chimique s'écrite par l'équation suivante :

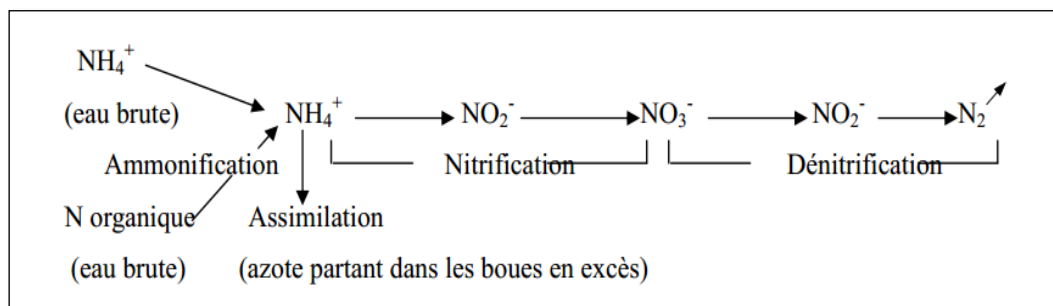
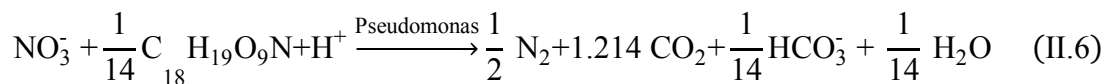


Figure II.10 : Les étapes de la métabolisation de la pollution azotée.

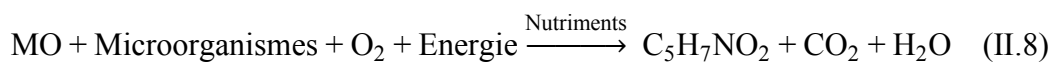
II.8.2. Elimination de la pollution carbonée

Les paramètres mesurant la pollution carbonée sont : DBO_5 à 20 °C, DCO et MES. Cette pollution est présentée sous trois formes physico-chimiques dans les eaux usées. En effet, on peut la subdiviser en fraction décantable, colloïdale et soluble. On peut considérer que le processus d'épuration aérobie s'effectue en trois étapes essentielles successives [27] :

- Adsorption et absorption des matières polluantes solubles et colloïdales de l'effluent par cellules bactériennes;
- Oxydation biochimique et dégradation enzymatique des matières ainsi fixées. Cette opération fournit l'énergie aux microorganismes par les réactions de catabolisme suivantes :



Cette énergie sera nécessaire à la synthèse cellulaire et à la multiplication des microorganismes (par réaction d'anabolisme), aboutissant à un accroissement de la masse cellulaire totale :



- L'autodestruction de la matière cellulaire par respiration endogène (oxydation biomasse) est réalisée selon la réaction suivante :



II.8.3. Déphosphatation biologique

La déphosphatation biologique nécessite des conditions de sélections spécifiques parce qu'elle dépend d'espèces qui, seulement dans certaines conditions, enrichissent les cultures mixtes de l'eau usée et accumulent le phosphore. Les principales possibilités de déphosphatation seront examinées dans l'ordre indiqué ci-après :

- Procédés d'épuration physico-chimique ;
- Procédés d'épuration biologique.

L'action des microorganismes ne modifie qu'exceptionnellement l'état d'oxydation du phosphate dans les eaux. La plupart des transformations peuvent, en fait, être considérées comme :

- Transfert d'une forme insoluble immobilisée à un composé soluble ou mobile, c'est-à-dire solubilisation par voie microbiologique des phosphates insolubles ;
- Transfert des formes organiques à des formes inorganiques, c'est-à-dire minéralisation du phosphate organique.

Les formes solubles de phosphate inorganique aisément captées par les plantes et divers microorganismes sont assimilées sous forme de composés phosphorés organiques. Ainsi, le phosphate inorganique réagit avec l'ADP pour donner l'ATP, ou avec des hydrates de carbone

comme le glucose, pour l'initiation de la glycolyse. La théorie de déphosphatation biologique est basée sur l'accumulation du phosphate à l'intérieur des cellules bactériennes [27].

II.9. Problèmes biologiques dans le PBA

Parmi les problèmes les plus difficiles à résoudre sur les stations d'épuration à boues activées, les problèmes d'ordre biologique occupent une place prépondérante. Les connaissances permettant la compréhension des phénomènes ont longtemps fait défaut, ce qui a conduit fréquemment à des essais de solutions plus ou moins empiriques et n'a pas permis d'avancées notables [51]. On distingue deux groupes principaux [52] :

- 1. Les problèmes avec bactéries filamenteuses :** Les principaux dysfonctionnements dus aux bactéries filamenteuses sur station se manifestent sous deux formes : Le foisonnement (mauvaise décantation de la boue suite à une augmentation du volume occupé par celle-ci) et le moussage (formation d'une couche épaisse de mousse en surface des ouvrages).
- 2. Les problèmes sans bactéries filamenteuses en excès :** Ces problèmes dus essentiellement à des mousses de démarrage qui sont associées à : un effluent de sortie turbide, une boue de couleur claire et faiblement concentrée dans le bassin d'aération, une microfaune représentée par des bactéries libres et des protozoaires principalement de type Flagellés,...etc.

III.1. Introduction

L'objectif principal de ce travail est la conception d'un montage de traitement biologique à Boue Activée (BA) appliqué à l'élimination et l'épuration d'une eau contenant le bleu de méthylène en vue d'optimiser ses paramètres de fonctionnement. Et afin de contrôler l'efficacité d'élimination de la pollution, des prélèvements des échantillons ont été effectués en deux points de traitement, à l'entrée et à la sortie du bioréacteur. Parmi les paramètres physico-chimiques étudiés sont : La température ($^{\circ}\text{C}$), le pH, la conductivité électrique ($\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$), les MES ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), la demande biochimique en oxygène (DBO_5), l'indice des boues (IB), la charge massique (C_m) et la charge volumique (C_v). Les analyses ont été réalisées durant la période allant du 07 jusqu'au 20 janvier 2020 à raison d'une analyse par jour. Les résultats de ces analyses sont présentés dans le chapitre IV.

III.2. Présentation du pilote à boues activées (BA)

Le procédé par boues activées est, généralement, un traitement dit secondaire des eaux usées. Son fonctionnement nécessite :

1. Un bac de stockage des eaux usées (eau contenant le bleu de méthylène) pour alimenter le bassin d'aération ou le bioréacteur ;
2. Un bassin d'aération à boues activées sous forme rectangulaire, est doté d'une capacité maximale de 14 L, avec trois pompes d'aération et un agitateur : C'est un réacteur biologique dans lequel s'effectue la transformation de la matière organique par les microorganismes aérobies (la biomasse bactérienne);
3. Un décanteur cylindrique (clarificateur) à fond conique dans lequel assurant à la fois la séparation de l'eau épuré et de la matière en suspension et le recyclage des boues vers le bassin d'aération;
4. Un dispositif de recyclage assurant le retour vers le bassin d'aération des boues biologique récupérées dans le clarificateur ;
5. Un dispositif d'extraction et de traitement des boues ;
6. Chaque élément du montage est relié au suivant par un système de tuyaux.

La figure (III.1) schématise le pilote de traitement biologique utilisé dans ce travail.

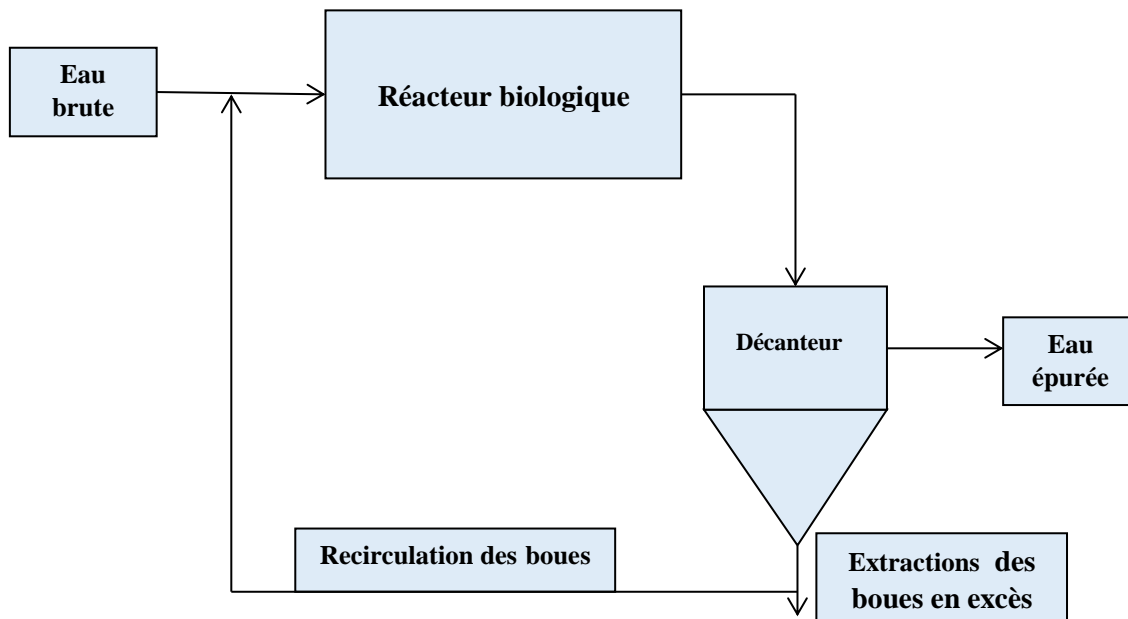


Figure III.1 : Schématisation de pilote de traitement biologique à boues activées.

III.3. Préparation des boues

Les boues utilisées dans cette étude sont prélevées de la station d'épuration des eaux usées urbaines de la wilaya de Bouira. Avant l'utilisation, la boue doit être lavée et filtrée.

III.3.1. Lavage des boues

Les boues activées sont une matrice complexe dans laquelle différents interférents sont présents. Pour s'affranchir de ces derniers lors des dosages, un protocole expérimental a été mis en place. Les boues prélevées de la station d'épuration sont préalablement lavées à l'eau de robinet trois à quatre fois, puis filtrées sur filtre Buchner avant d'être à nouveau lavées et filtrées, de manière à éliminer toute source de nutriments et de carbone autre que celles fournies par la suite par l'expérimentateur.

III.3.2. Réactivation des boues

Après le lavage, les boues sont destinées à une réactivation avant l'utilisation, donc la nutrition est nécessaire pour cette opération. La quantité de matière sèche est déterminée afin de connaître la concentration initiale des boues dans le réacteur. Pour cela, 5 mL de boues sont prélevés et mis à l'étuve à 105 °C jusqu'à poids constant. A partir de cette concentration,

le volume de boues à introduire dans le flacon pour avoir une concentration de 1 g.L^{-1} peut être déterminé.

A. Matériels et réactifs

- **Matériels :** bécher de 2L ; fiole de 500 mL ; trois fiole de 100 mL ; balance ; agitateur magnétique ; verre fritté ou pompe aquarium (pour l'aération).
- **Réactifs :** KH_2PO_4 ; K_2HPO_4 ; $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; NH_4Cl ; CaCl_2 ; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; CH_3COONa ; eau distillée.

B. Mode opératoire

▪ Partie I : Préparation des solutions minérales

Les solutions minérales ont été préparées selon la norme 301 A du test de Sturm [53] :

Solution A

Dihydrogénophosphate de potassium, KH_2PO_4	4,25g
Hydrogénophosphate de dipotassium, K_2HPO_4	10,40g
Hydrogénophosphate disodique dihydraté, $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	16,70g
Chlorure d'ammonium, NH_4Cl	0,25g

Dissoudre dans 500 mL d'eau.

Solution B

Chlorure de calcium anhydre, CaCl_2	2,75g
--	-------

Dissoudre dans 100 mL d'eau.

Solution C

Sulphate de magnésium heptahydraté, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	2,25g
---	-------

Dissoudre dans 100 mL d'eau.

Solution DChlorure de fer (III) hexahydraté, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

0,025g

Dissoudre dans 100 mL d'eau

Partie II: Nutrition des boues

Pour la nutrition des boues (Photo III.1), nous avons suivi les étapes ci-dessous :

- 1) Après lavage des boues, prendre 1L de liqueur mixte (mélange eau-boues activés) dans un bécher de 2L ;
- 2) Mettre en œuvre le système d'agitation et d'aération ;
- 3) Ajouter 10 mL de solution A, 1 mL de solution B, C et D et 3g d'acétate de sodium CH_3COONa (substrat organique) et 3g de NH_4Cl , quotidiennement.



Photo III.1 : Réactivation des boues au niveau du laboratoire.

Remarque : La manipulation se déroule sous agitation et sous aération, sans arrêt, pendant 30 jours avant l'usage expérimental.

Partie III : Evolution des boues

Pour suivre l'évolution des boues pendant la période de réactivation on peut déterminer les MES et les MVS, quotidiennement, par la technique de centrifugation, la

centrifugeuse utiliser est de marque ROTOFIX 32 A. Pour cela nous avons suivi le mode opératoire suivant :

- 1) Repartir 20 mL d'échantillon dans des tubes puis centrifugé à 400 tours.min⁻¹ pendant 20 min ;
- 2) Verser le surnageant et compléter les tubes avec 20 mL d'eau distillée ;
- 3) Centrifuger à nouveau pendant 20 min ;
- 4) Recueillir le culot avec l'eau distillée dans un creuset préalablement séché de masse M₀ ;
- 5) Evaporer l'eau sur une plaque chauffante, 20 min environ ;
- 6) Porter à l'étuve à 105 °C jusqu'au poids constant (2 h environ) ;
- 7) Disposer le creuset dans un dessiccateur pour refroidir et peser le poids M₁ de culot ;
- 8) Après, placer le creuset dans un four à 550 °C et déterminer le poids M₂ pour calculer les MVS ;
- 9) Tracer la courbe de variation de MES et MVS en fonction du temps.

- **Expressions des résultats [54] :**

$$\text{MES}(\text{mg.L}^{-1}) = \frac{(M_1 - M_0)}{V} 1000 \quad (\text{III.1})$$

$$\text{MVS}(\text{mg.L}^{-1}) = \frac{(M_2 - M_1)}{V} 1000 \quad (\text{III.2})$$

Avec :

- ✓ M₀ : masse du creuset vide en mg ;
- ✓ M₁ : masse du creuset et du contenu après séchage à 105 °C ;
- ✓ M₂ : masse du creuset et du contenu après séchage à 550 °C ;
- ✓ V : volume de l'échantillon en mL.

III.4. Etude la cinétique de croissance

Les boues destinées à un ensemencement sont préparées deux à trois jours avant utilisation. Laissées sous agitation et sans source de nutriments, puis filtrées une dernière fois juste avant emploi. Elles sont alors remises en suspension dans de l'eau distillée.

III.4.1. Dispositif expérimental

Le milieu de culture est composé d'oligo-éléments sous forme de solution de Trinci, d'une source de phosphate sous forme de KH_2PO_4 ; $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$; une source d'azote NH_4Cl ; ainsi que du Bleu de Méthylène comme source de carbone : 0.150 g.L^{-1} .

Les traitements aérobies sur souches pures sont réalisés dans des flacons de 250 mL contenant 100 mL d'échantillon sous agitation constante de $150 \text{ tours.min}^{-1}$ et placés à l'étuve à 30°C durant toute la durée de l'expérience. Les flacons sont fermés à l'aide de bouchons en coton cardé. L'échantillon est dupliqué pour assurer la reproductibilité des résultats. Le pH est ajusté à 7.

Nous avons travaillé dans des milieux stériles, pour cela toutes les solutions ont été autoclavées et cela avant l'ajout du BM.

A. Matériels et réactifs

- **Matériels** : 3 flacons de 250 mL ; éprouvette de 50 mL ; éprouvette de 100 mL ; incubateur ; pH-mètre ;
- **Réactifs** : EDTA di $\text{Na} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; NaOH ; $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{ H}_2\text{O}$; $\text{CaCl}_2 \cdot 2 \text{ H}_2\text{O}$; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{ H}_2\text{O}$; $\text{MnSO}_4 \cdot 1 \text{ H}_2\text{O}$; $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{ H}_2\text{O}$; $(\text{NH}_4)_2 \text{ Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6 \text{ H}_2\text{O}$; $(\text{NH}_4)_6 \text{ MO}_7\text{O}_{24} \cdot 6 \text{ H}_2\text{O}$; KH_2PO_4 ; NaH_2PO_4 ; Bleu Méthylène (BM) ; HCl et NaOH.

B. Mode opératoire

- 1) Préparer le milieu de culture sous forme de solution de Trinci de composition citer dans le tableau (III.1) ci-dessus ;
- 2) Prendre 50 mL de solution d'oligo-élément ;
- 3) Prélever 100 mL d'échantillon de boues activées ;
- 4) Mettre le tout dans un flacon de 250 mL et juger le pH à 7 (préparer 2 à 3 flacons pour assurer reproductibilité des résultats) ;
- 5) Placer les flacons à l'incubateur à 30°C durant toute la durée de l'expérience.



Photo III.2 : Dispositif expérimentale des flacons.

Tableau III.1 : Composition de solution d'oligo-élément de boues [55].

Oligo-éléments	Concentration
EDTA di Na.2H ₂ O	15 g.L ⁻¹
Na OH (10 M)	5 mL.L ⁻¹
Mg SO ₄ .7 H ₂ O	5 g.L ⁻¹
CaCl ₂ .2 H ₂ O	1,3 g.L ⁻¹
ZnSO ₄ .7 H ₂ O	0,4 g.L ⁻¹
MnSO ₄ .1 H ₂ O	0,3 g L ⁻¹
CuSO ₄ .5 H ₂ O	0,1 g.L ⁻¹
(NH ₄) ₂ Fe(SO ₄) ₂ .6 H ₂ O	2,8 g.L ⁻¹
(NH ₄) ₆ MO ₇ O ₂₄ . 6 H ₂ O	0,073 g.L ⁻¹
KH ₂ PO ₄	3,40 g.L ⁻¹
NaH ₂ PO ₄	3,55 g.L ⁻¹
Bleu de Methylene	0, 150 g.L ⁻¹

III.4.2. Analyse de la croissance bactérienne

Les techniques de mesure de la croissance sont basées sur l'évaluation du nombre de microorganismes ou de leur masse par unité de volume ou du poids du milieu. On distingue [56] :

- 1. Les méthodes directes :** dénombrement des bactéries après culture, mesure du nombre de cellules sous microscope, ...etc.

2. **Les méthodes indirectes** : mesure de la turbidimétrie, mesure de la biomasse sèche,...etc.

Dans cette étude, nous choisissons une méthode directe «dénombrement des bactéries après culture», pour analyser l'évaluation des microorganismes présent dans les boues activées.

▪ **Principe de la technique**

Dénombrement des bactéries après culture c'est la méthode la plus courante pour mesurer la croissance bactérienne. Le résultat est exprimé en nombre de bactéries par ml. Cette méthode offre un avantage considérable : elle permet de mesurer le nombre de bactéries viables. Mais, elle présente un inconvénient : il faut attendre en général 24 heures ou plus pour que se forment des colonies visibles. Cette méthode de mesure suppose que, en se développant et en se divisant, chaque bactérie donne naissance à une seule colonie. On procède ensuite à une dilution en série de $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{1000}$, $\frac{1}{10000}$, $\frac{1}{100000}$. Ensuite, 1 mL de chaque dilution est étalé soit en profondeur, soit en surface.

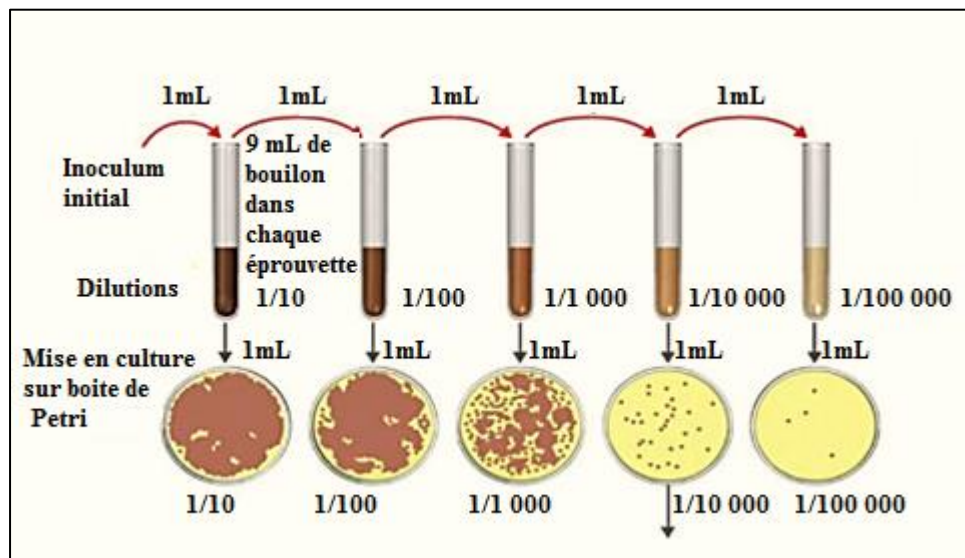


Figure III.2 : Mesures directes : Dénombrement des bactéries après culture.

Le dénombrement de colonies après culture sur une gélose en boîte de pétri peut se faire par des techniques d'étalement en surface ou en profondeur. La figure (III.3) représente le principe des deux techniques [56].

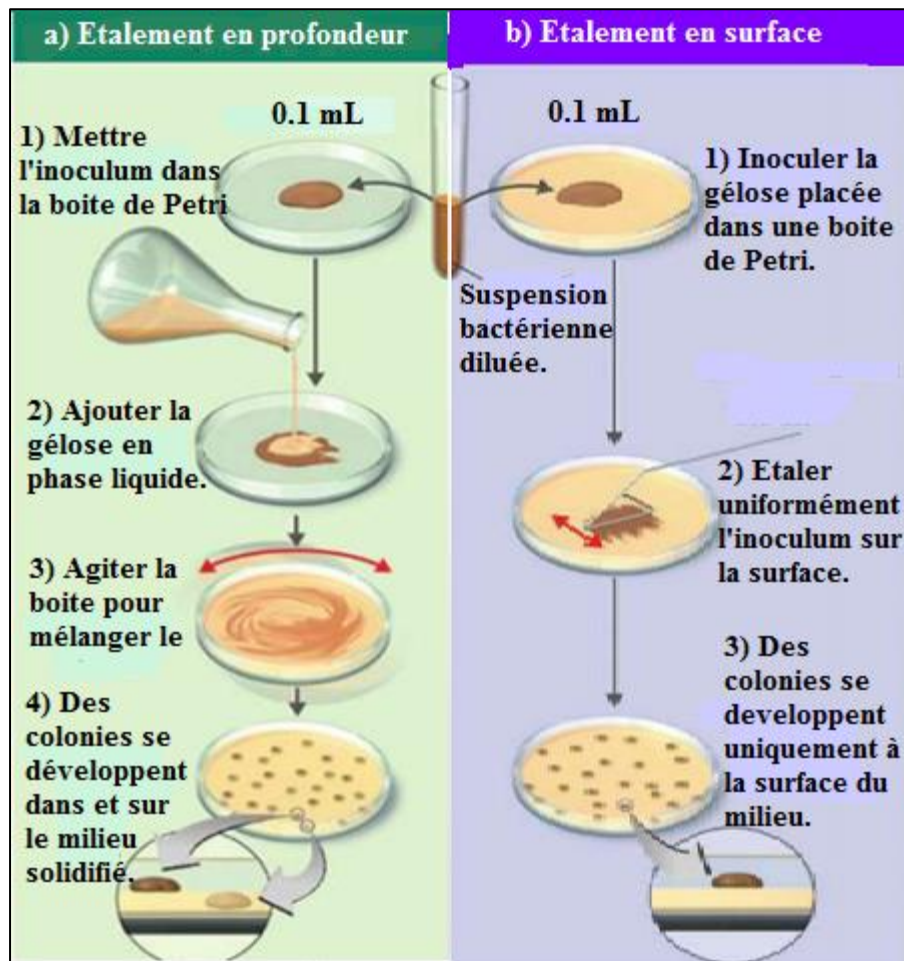


Figure III.3 : Principe des techniques d'étalement en surface et en profondeur.

A. Matériels et réactifs

- **Matériels :** 5 boîtes de pétri ; bec bunsen ; pipette pasteur ; pipette de 1 mL ; éprouvette de 10 mL ; 5 tubes d'essai ;
- **Réactifs :** gélose nutritif ; eau distillée.

B. Mode opératoire

▪ Partie I : La dilution

La partie de dilution de la technique de dénombrement des colonies après culture se fait comme suivant :

- 1) Mettre 9 mL de diluant (eau distillée) dans les tubes d'essai ;
- 2) Homogénéiser la suspension microbienne à prélever (agitation par mouvement circulaire pendant 10 secondes environ ou à l'aide d'un vortex) ;
- 3) Ouvrir et flamber l'ouverture du tube ;

- 4) Prélever 1 mL de suspension à l'aide d'une pipette stérile (ne pas introduire la pipette dans la suspension de plus de 1 cm) ;
- 5) Flamber et refermer le tube ;
- 6) Ouvrir le tube de 9 mL de diluant, flamber l'ouverture y introduire le volume prélevé (éviter tout contact entre la pipette contenant l'inoculum et le diluant stérile) ;
- 7) Flamber et refermer le tube ;
- 8) Jeter la pipette souillée dans le bac à eau de javel.

La dilution suivante s'effectue comme la dilution décrite ci-dessus mais en partant du tube de la dilution précédente.

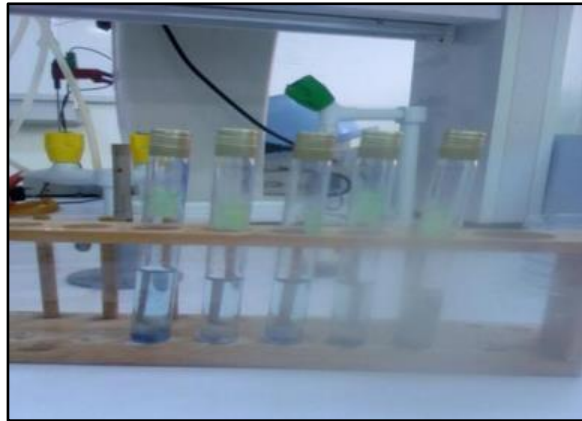


Photo III.3 : Représente la technique de la dilution.

▪ **Partie II : Etalement en boîtes de pétri**

Dans cette partie, nous avons choisi la technique d'étalement en surface des boîtes de pétri, pour cela on applique les étapes suivantes :

- 1) Mettre la gélose nutritif (GN) dans un bain marie à température 80 °C pendant 2 heures;
- 2) Inoculer la GN dans des boîtes de pétri et laisser, environ 2 h, pour solidifié ;
- 3) Verser 0.1 mL d'un échantillon, à l'aide d'une pipette pasteur, sur la surface de GN, puis étaler uniformément l'inoculum avec une tige en verre stérilisée de forme particulière ;
- 4) Fermer et retourner les boîtes, puis incubé, à 30 °C pendant 24 h ;

- 5) Calculer les colonies formées sur la surface. La lecture se fait après chaque 24h ;
- 6) Tracer la courbe de variation de nombre de bactéries N en fonction de temps.
 - **Expression des résultats [56] :**

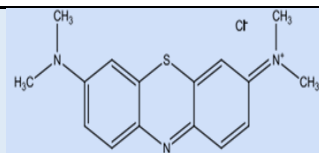
$$N(\text{nombre de bactéries/mL}) = \frac{\text{Nombre de colonies}}{\text{Concentration de l'échantillon}} \quad (\text{III.3})$$

III.5. Traitement le bleu de méthylène par le PBA

III.5.1. Généralité sur le bleu de méthylène (BM)

Le BM est un colorant cationique ou basique, il existe comme une poudre vert foncé, et sous plusieurs formes hydratés : monohydraté, dihydraté, trihydraté et pentahydraté, le plus courant c'est le trihydraté. Il est couramment utilisé comme modèle de contaminant organique en raison de sa structure moléculaire stable. Dans la réaction de réduction, le MB se transforme en leuco méthylène incolore, due à la perte du doublet libre de l'azote et introduction d'un atome d'hydrogène. Le tableau (III.2) résume les principales caractéristiques physico-chimiques de ce colorant [57].

Tableau III.2 : Présente les propriétés physico-chimiques du bleu de méthylène.

Propriétés	
Famille	Colorant basique
Formule brute	$C_{16}H_{18}N_3ClS$
Masse molaire (g/mol)	319,85
Solubilité dans l'eau (g/l) à 20°C	40
Point de fusion (°C)	180
pH	5.9
pKa	3,8
λ_{max} (nm)	665 ou 662
Structure	

- Courbe d'étalonnage

Le bleu de méthylène absorbe dans le domaine visible ($\lambda_{\max} = 664 \text{ nm}$). La mesure de l'absorbance de plusieurs solutions du bleu de méthylène à des concentrations connues (1 ; 1.5 ; 2 ; 2.5 ; 3 ; 4 ; 5 ; 6 ; 7 ; 8 ; 9 et 10 mg/L) est réalisée pour vérifier leurs concentrations dans le bioréacteur et calculer le rendement. Les résultats sont illustrés sur le tableau (III.3).

Tableau III.3 : Absorbances des solutions du bleu de méthylène en fonction de leurs Concentrations.

[MB] (mg/L)	Absorbance
1	0.224
1.5	0.335
2	0.489
2.5	0.588
3	0.742
4	0.976
5	1.147
6	1.376
7	1.516
8	1.714
9	1.898
10	2.059

La figure (III.4) illustre la courbe d'étalonnage de bleu de méthylène

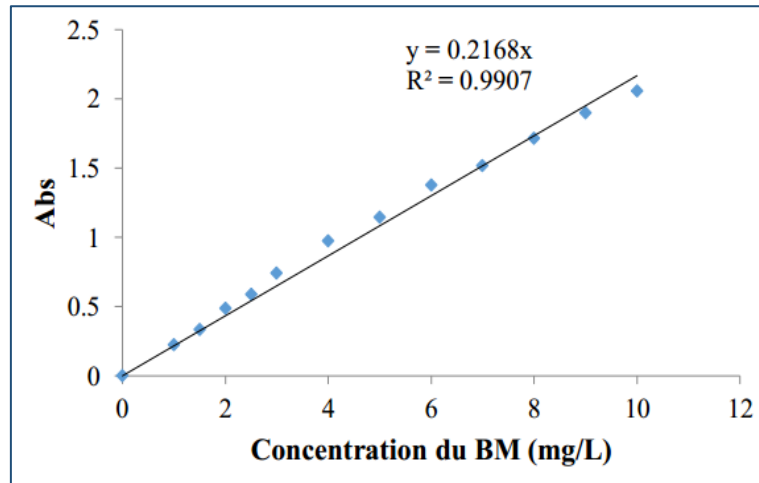


Figure III.4 : Courbe d'étalonnage.

III.5.2. Description de fonctionnement du PBA

Le principe du procédé à boues activées repose sur le constat suivant : un effluent, dans lequel on insuffle de l'air, est le lieu du développement progressif d'une flore bactérienne et cela au détriment des matières organiques polluantes appelées substrat. Après avoir détaillé les processus bactériens mis en jeu, nous présenterons la chaîne de traitement ainsi que les caractéristiques de fonctionnement.

III.5.3. Echantillonnage des eaux

Les échantillons d'eau sont recueillis dans des flacons en verre bien lavés doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspensions). Dans notre cas, nous avons effectué le prélèvement de l'échantillon d'eau dans le bioréacteur et dans le décanteur, durant 09 jours ces prélèvements sont destinés aux analyses physico-chimiques (pH, température, turbidité, etc) quotidiennement et les conserver au réfrigérateur pour l'analyse des autres paramètres.

III.5.4. Mis en œuvre le pilote à BA

L'équipement est composé : d'un Pilote à BA pour l'épuration des eaux usées et des appareils de mesures des paramètres physico-chimiques de l'eau.

A. Matériels et réactifs

- **Matériels** : Pilote à BA ;
- **Reactifs** : BM ; eau de robinet ; les solutions A, B, C, D ; NH_4Cl .

B. Mode opératoire**▪ Partie I : Préparation de polluant (BM)**

Dans cette étude on prépare 10 L de solution du BM de concentration 0.02 g.L^{-1} comme suite :

- 1) Mesurer la quantité nécessaire du BM pour le préparer;
- 2) Dissoudre le BM dans 10 L d'eau de robinet ;
- 3) Mettre la solution dans le bac de stockage pour le traité.

▪ Partie II : Dépollution de l'eau par le PBA

Pour épurer l'eau de robinet qui est colorée avec le BM (eau usée) on réalise les étapes suivantes :

- 1) Mettre dans le bioréacteur un volume de 1 L de boues activées (les boues sont réactivées au niveau du laboratoire pendant 30 jours) ;
- 2) Alimenter le bioréacteur en eau usée avec un débit $Q_E = 4.54 \text{ mL/S}$;
- 3) En même temps, mis en œuvre le système d'aération et d'agitation, puis, laisser la liqueur mixte dans le bioréacteur (environ 2h) avant les premières prélèvements. Après, prendre les échantillons nécessaires pour analyser les paramètres de fonctionnement du bioréacteur ;
- 4) Ensuite, transmettre le mélange vers le clarificateur avec un débit de sortie $Q_S = Q_E$ jusqu'à le remplissage, après, laisser pour décanter environ 2h et prendre les échantillons pour analyser l'eau épurée;
- 5) Extraire 50 mL de boues avec un débit $Q_{EX} = 5 \text{ mL/S}$;
- 6) Enfin, recycler les boues décantées vers le bioréacteur avec un débit $Q_R = 5.55 \text{ mL/S}$.

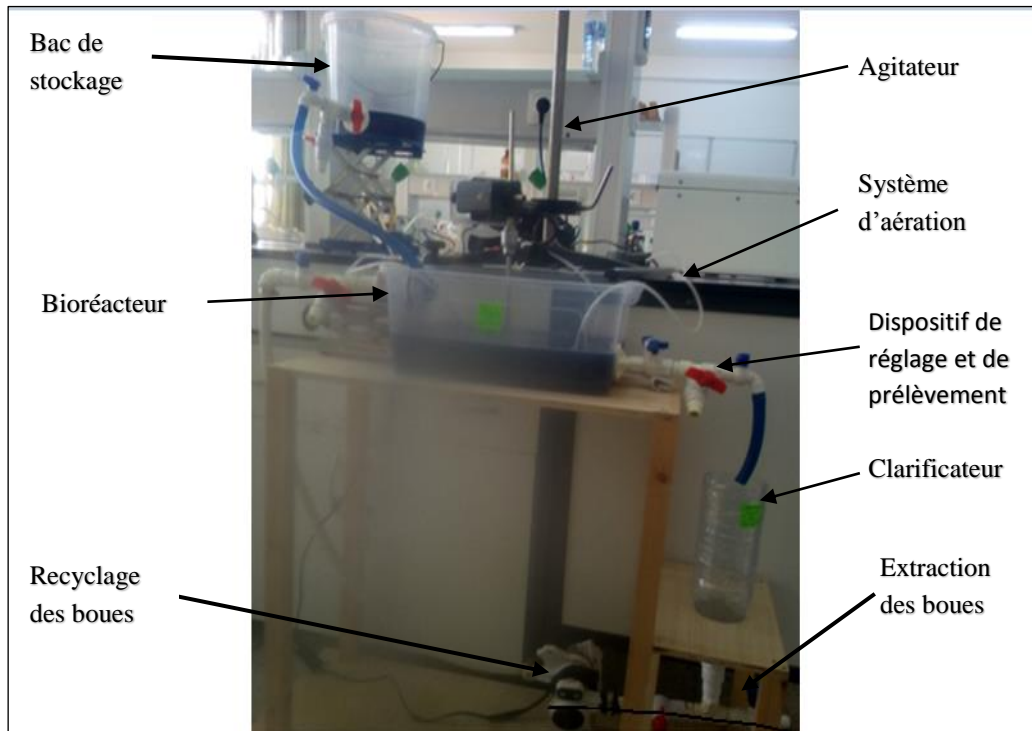


Photo III.4 : Pilote expérimental à boues activées.

Remarque : L'expérience a été mise en œuvre durant 09 jours et les échantillons sont prélevés quotidiennement. La nutrition des boues est nécessaire pour les développer, donc, 80 mL de solution A, 8 mL de solution B, C et D avec 24 g de NH_4Cl sont ajoutés quotidiennement à la liqueur mixte.

III.5.5. Méthodologies : Analyses et modes opératoires

III.5.5.1. Analyse physico-chimique

Différentes méthodes d'analyses ont permis de déterminer les divers paramètres physico-chimiques.

a. La température : Elle influence beaucoup de phénomènes physico-chimiques tels que le pouvoir d'auto-épuration d'une eau polluée, la solubilité des gaz, la conductivité et le pH [58]. La détermination de la température de l'échantillon est faite au laboratoire à l'aide d'une sonde du pH-mètre de marque HI 2211 PH/ORP, plongé à l'intérieur du flacon et on attend environ 3 minutes pour la lecture. Elle est donnée en degré Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

b. Le potentiel d'Hydrogéné pH : Il représente le degré d'acidité ou d'alcalinité suivant qu'il se trouve dans la bande de 0 à 7 ou de 7 à 14. C'est la mesure de la concentration en ions Hydronium (H_3O^+) provenant de la dissociation des molécules d'eau en protons H^+ . Il control les vies aquatiques et régule le processus d'épuration dans les plans d'eau. Le pH dans l'eau naturelle varie entre 6,6 et 7,8 [58]. A l'aide d'un pH-mètre de marque HI 2211 PH/ORP (photo III.5). On plonge la sonde dans les échantillons d'eau avant et après l'épuration. On le laisse se stabiliser ; on agite pour s'assurer de la fiabilité du résultat. Celui-ci est affiché sur l'afficheur.



Photo III.5 : pH-mètre pour la mesure de la température et le pH.

c. La conductivité : La mesure de la conductivité donne une évaluation globale des ions présents dans l'eau, ions essentiellement minéraux (salinité de l'eau) [58]. La conductivité électrique est mesurée à l'aide d'un conductimètre. On commence par régler le conductimètre (photo III.6) et le mettre sur le mode : $\mu s.cm^{-1}$. Puis on plonge la sonde dans les échantillons d'eau, usée puis épurée, et on lit le résultat en micro- siemens.



Photo III.6 : Conductimètre de marque Cond 1970i.

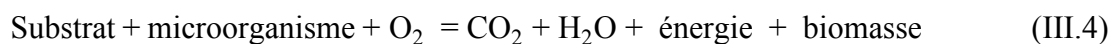
d. La turbidité : La turbidité résulte la présence des matières en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques...). L'appréciation de l'abondance de

ces matières mesure son degré de turbidité [59]. Est recommandé d'effectuer la mesure aussi rapidement que possible après le prélèvement, de préférence le même jour. De toute façon, les échantillons doivent être agités vigoureusement avant la mesure. En raison des caractéristiques propres aux matières en suspension, telles que taille, forme, indice de réfraction, couleur, etc, les difficultés de comparaison sont évidentes. Il en est de même si l'on veut rapprocher les mesures de turbidité des mesures de matières en suspension. Le turbidimètre utilisé dans cette étude est de marque AL450T-IR.



Photo III.7 : Turbidimètre de marque AL450T-IR.

e. Demande biologique en oxygène : La demande biochimique en oxygène (DBO_5) qui est la quantité d'oxygène consommée (en $mg\ O_2/L$) pour assurer la dégradation (par voie bactérienne) des matières organiques contenues dans un litre d'échantillon d'eau sous analyse, à l'obscurité et à température de $20\ ^\circ C$. La quantité d'oxygène consommée dans les conditions de l'essai est mesurée après un laps de temps de 5 jours d'où son nom de DBO_5 . Elle se résume à la réaction chimique suivante [60] :



- **Méthode :** On remplit les flacons avec les échantillons d'eau usée et on met un barreau magnétique dans chacun des flacons pour homogénéisation. On rajoute un absorbant dans les bouchons hermétiques pour absorber l'humidité, le plus utilisé est l'hydroxyde de lithium. Les échantillons sont placés dans une chambre thermo-statée et sombre durant leur mesure de DBO_5 . On règle l'appareil à zéro et on met l'incubateur en marche pendant 5 jours à $20\ ^\circ C$. Le résultat est obtenu directement sur l'afficheur.



Photo III.8 : DBO mètre pour la détermination de DBO_5 .

III.5.5.2. Les paramètres de fonctionnement d'un bioréacteur

- a. La charge volumique C_v :** Encore appelée charge organique, elle représente la masse de pollution arrivant chaque jour sur la station par unité de volume de réacteur. Son expression est [49] :

$$C_v (\text{kg O}_2 \cdot \text{m}^3 \text{ j}^{-1}) = \frac{Q_0 [\text{DBO}_5]}{V} \quad (\text{III.5})$$

- b. La charge massique C_m :** La charge massique C_m correspond à la charge organique reçue par jour, rapportée à la masse de MVS présente dans le bassin. Elle est définie par la relation suivante [54] :

$$C_m (\text{kg O}_2 \cdot \text{kg MVS}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}) = \frac{C_v}{[\text{MVS}]} = \frac{Q_0 [\text{DBO}_5]}{V [\text{MVS}]} \quad (\text{III.6})$$

Avec :

- ✓ $Q_0 (\text{m}^3 \cdot \text{j}^{-1})$: est le débit journalier d'eau brute à traiter ;
- ✓ $DBO_5 (\text{kg O}_2 \cdot \text{m}^{-3})$: est la Demande Biologique en Oxygène de l'effluent à cinq jours ;
- ✓ $V (\text{m}^3)$: est le volume du bioréacteur ;
- ✓ $MVS (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$: est la concentration en matières volatiles en suspension dans le bassin d'aération.

c. Indice de Mohlman IM - Indice de boue IB

L'indice de Mohlman, noté IM, correspond au volume occupé par 1 g de boue sèche exprimé en MS ou MES après décantation d'une demi-heure. On emploie alors l'indice de boues IB qui est réalisée avec dilution. Celle-ci est accomplie avec l'eau traitée et se détermine afin d'obtenir un V_{30} inférieur à 250 mL [54].

$$IM \text{ (mL.g}^{-1}\text{)} = \frac{V_{30}}{[MS]_{BA}} = \frac{V_{30}}{[MES]_{BA}} \quad (\text{III.7})$$

$$IB \text{ (mL.g}^{-1}\text{)} = \frac{V_{30 \text{ corrigé}}}{[MS]_{BA}} = \frac{V_{30 \text{ lu}}}{[MS]_{BA}} \frac{1}{\text{dilution}} \quad (\text{III.8})$$

• Mesure des MS

Le principe consiste à mener la détermination des matières en suspension et des matières dissoutes dans un échantillon de boue liquide ou déshydratée. En l'occurrence, il n'y a pas d'étape de filtration. Il est recommandé de mesurer avec précision le volume d'échantillon (20 mL) pour obtenir le résultat en g. L⁻¹ ou en mg. L⁻¹. Dans le cas contraire, on mesure la siccité ou pourcentage de MS qui est obtenue dans le cas des boues non liquides. La capsule (ou le creuset) probablement séchée, refroidie au dessiccateur et tarée, reçoit la boue. Le tout est séché à 105 °C pendant 24 heures. Le procédé permet l'élimination de l'eau contenue dans la boue. On a donc [54] :

$$MS \text{ (matières sèches)} = MES + \text{Matières dissoutes} \quad (\text{III.9})$$

L'expression des résultats est donnée ci-dessous :

$$MS \text{ (mg.L}^{-1}\text{)} = \frac{(M_3 - M_1)}{V} 1000 \quad (\text{III.10})$$

IV.1. Introduction

Dans cette partie de notre travail, nous présentons les résultats issus du traitement du bleu de méthylène par boue activée et leurs interprétations, nous avons commencés cette étude par la réactivation des boues d'environ 30 jours, et en parallèle l'étude de la croissance bactérienne a été suivi également. Le travail expérimental a été réalisé sur une période d'environ 09 jours du 07 à 18 janvier 2020. Les paramètres de pollution analysés sont: les matières en suspension (MES), les matières volatiles (MVS), la demande biochimique en oxygène (DBO₅), l'indice des boues (IB) et de Mohlman (IM), la charge massique (C_m) et la charge volumique (C_v). En parallèle, les variations dans l'évolution du pH et de la température dans l'eau (brute et traitée) ont été également enregistrées. Les résultats obtenus suivis d'une interprétation qui permettra de cibler les éventuelles anomalies qui peuvent être à l'origine de dysfonctionnement de procédé de traitement adopté.

IV.2. Etude de la croissance bactérienne

Les bactéries sont parmi les formes de vie les plus abondants sur terre. Ils sont trouvant dans chaque écosystème et sont vitales pour la vie quotidienne. La croissance se traduit par une augmentation du nombre de bactéries et se définit comme l'accroissement ordonné de tous les composants d'une bactérie. Les bactéries se multiplient par fission binaire : une cellule grandit puis se divise en deux cellules filles séparées par un septum de division formé par la paroi cellulaire. Durant la division, l'ADN se duplique ainsi que les autres constituants. La réorganisation des parois qui conduit à la formation du septum puis à la séparation met en jeu divers systèmes enzymatiques de synthèse et de dégradation [61].

Pour ce faire, les bactéries ou bien les boues activées sont cultivées dans des conditions contrôlées en culture pendant 14 jours. Le nombre de cellules d'un milieu peut-être évalué par des cellules d'un milieu, c-à-d compté directement le nombre de cellules. Le tableau (IV.1) présente les résultats obtenus concernant la cinétique de croissance bactérienne des échantillons de boues à réactivées.

Tableau IV.1 : Représente les résultats de la cinétique de croissance bactérienne.

Temps (jours)	Nombre de colonies	N (nombre des bactéries. mL ⁻¹)
0	17	17000
1	25	25000
2	36	36000
3	62	62000
4	96	96000
5	139	139000
6	152	152000
7	192	192000
8	210	210000
9	222	222000
10	175	175000
11	151	151000
12	143	143000
13	120	120000
14	100	100000

La courbe de croissance bactérienne est une représentation de la dynamique des populations microbiennes. Elle permet de comprendre et de suivre l'évolution de ces populations. La croissance des populations ou des cultures bactériennes comprend certain nombre de phases possédant chacune une vitesse spécifique de croissance différente [56]. La figure (IV.1) illustre la courbe de croissance bactérienne obtenue.

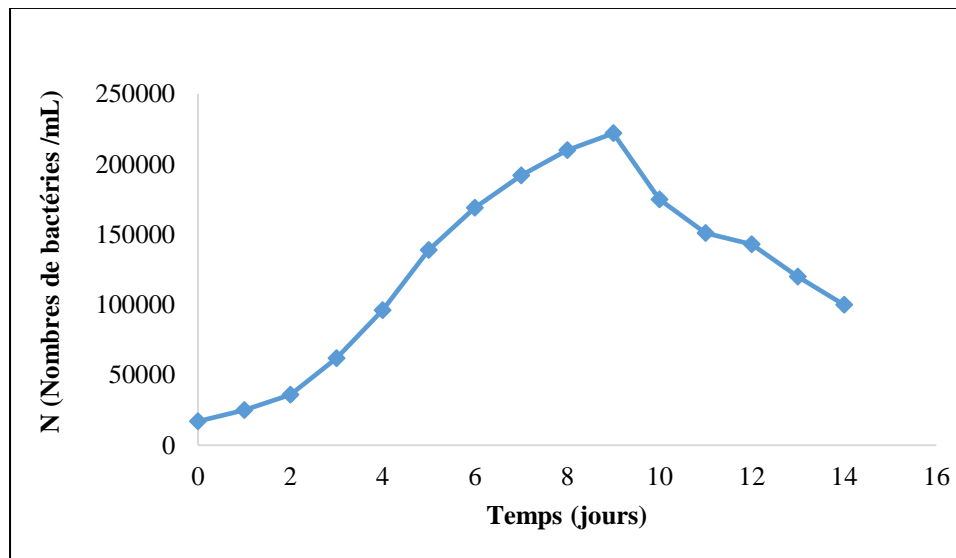


Figure IV.1 : Courbe de développement d'une culture bactérienne.

Plusieurs phases de croissances distinctes peuvent être observées dans une courbe de croissance (figure IV.1). Il s'agit de la phase de latence, l'exponentielle ou phase logarithmique, la phase stationnaire et la phase de mort, dont chacune est liée à des modifications physiologiques spécifiques.

1. Phase de latence ou d'adaptation

La durée de cette phase est observée à 2 jours. Elle sépare le moment d'inoculation du moment où la croissance devient perceptible. Croissance lente ou absence de croissance en raison de l'adaptation physiologique des cellules aux conditions de culture ou d'une dilution des *exo*-enzymes en raison de la faible densité initiale. Cette durée d'adaptation dépend également du type de microorganismes, du nombre de germes inoculés, des différentes de compositions et des concentrations entre l'ancien et le nouveau milieu de culture,...etc [1].

2. La phase exponentielle ou de croissance

Après la phase de latence, les cellules commencent à se diviser. Elles entrent dans une période de croissance appelée phase de croissance exponentielle pendant 7 jours. C'est la période durant laquelle la reproduction cellulaire est la plus intense, et le temps de génération est minimal. La vitesse spécifique de croissance ou le taux de croissance est maximale [62].

3. La phase maximale stationnaire

Où le taux ou la vitesse de croissance est diminué ou nulle. La phase exponentielle ne dure que quelques jours, le milieu devient de moins en moins favorable à la croissance, le nombre de cellules viables reste constante. Il peut correspondre à un équilibre entre le nombre de cellules provenant de la multiplication et le nombre de cellule qui disparaissent par autolyse. L'épuisement des nutriments, l'accumulation de déchets ainsi que des variations défavorables du pH sont autant de facteurs qui peuvent jouer un rôle dans un milieu de culture [62].

4. La phase de déclin ou de décroissance

Le taux de mortalité peut être constant comme le taux de croissance. Durant cette période, les bactéries ne se divisent plus, elles murent et sont lysées par les enzymes qu'elles libèrent, c'est-à-dire les microorganismes sont peu ou ne sont plus alimentés et une partie de ceux-ci disparaissent par respiration endogène (ils vivent sur leur réserves, puis meurent en laissant d'ailleurs des déchets organiques non biodégradables) [62].

IV.3. Réactivation des boues

La boue activée utilisée pour la dégradation du bleu de méthylène a été réactivée. La réactivation est suivi par la mesure de la matière en suspension MES et la matière volatile MVS durant la période de la réactivation (30 jours), les résultats obtenus sont présentés sur la figure (IV.2).

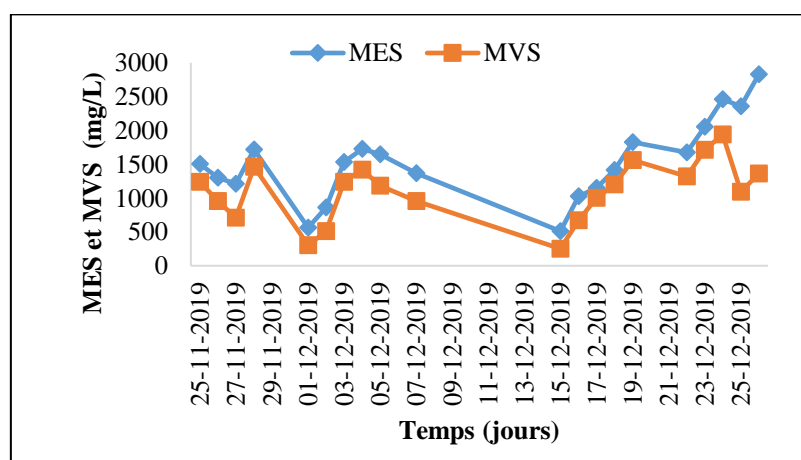


Figure IV.2 : Variation de MES et MVS pendant la réactivation de la boue.

D'après les résultats illustrés sur la figure (IV.2), nous remarquons que pendant la réactivation les MES et MVS subit une variation jusqu'à une valeur de 510,9 mg/L de MES et 251,4 mg/L de MVS, ceci peut être expliqué par le manque et l'insuffisance des nutriments et la reproduction des bactéries est moins. Au-delà de ces valeurs de MES et MVS, nous observons une augmentation des valeurs de MES et MVS et ceci est lié à la croissance et le développement des microorganismes. Ces résultats indiquent que les boues réactivées sont prêtes pour dégrader une matière organique.

IV.4. Analyse des paramètres physico-chimiques

Les mesures réalisées ont été choisies en fonction de la concordance avec les mesures habituellement utilisées sur site réel, de la richesse de l'information apportée et du matériel opératoire disponible. Le suivi du traitement du bleu de méthylène par boue activée au cours du temps conduit aux interprétations de certains paramètres physicochimiques, que nous allons présenter comme suit :

IV.4.1. Variation de la température

Des variations de température affectent tous les processus biologiques. La vitesse de réaction augmente jusqu'à une valeur optimale variable selon les micro-organismes qui se différencient en fonction de leur zone optimale de développement: Psychrophiles (de 15 à 30°C) ; mésophiles (de 25 à 40°C) ; thermophiles (de 50 à 60°C) [56]. Les températures basses ralentissent l'activité bactérienne et plus particulièrement les bactéries nitrifiantes ou méthanogènes. En aérobie, l'élévation excessive de température n'est jamais très favorable car elle agit négativement sur la dissolution de l'oxygène dans l'eau. La figure (IV.3) illustre la variation de la température de l'eau brute et l'eau épurée.

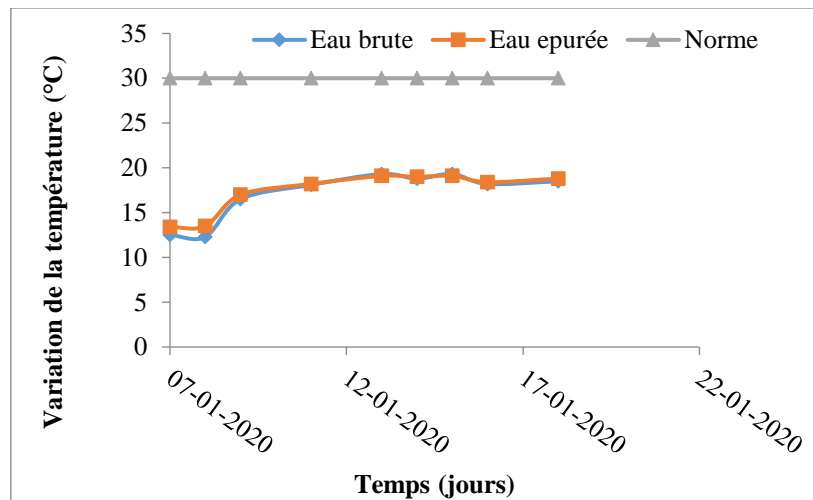


Figure IV.3: Variation journalière de la température de l'eau brute et de l'eau épurée

La température est un facteur important dans l'activité bactérienne, d'après les résultats obtenus (figure IV. 3), les valeurs de la température des différents échantillons prélevés pour l'eau brute et épurée sont très proches. Elles se situent dans un intervalle qui va du minimum de 12.3 °C au maximum de 19.3°C, avec une moyenne de 17.05, pour l'eau brute, et entre 13.4 °C et 19.1°C pour l'eau épurée, avec une moyenne de 17.33°C. On remarque que les valeurs de la température sont toutes inférieures à la norme (30 °C), elles sont relativement basses mais pas assez pour déstabiliser l'activité bactérienne. Les températures varient selon le climat et n'ont jamais dépassées la norme (30°C). C'est ce qui prouve une bonne épuration des eaux.

IV.4.2. Variation de pH

Le pH est une mesure de l'activité des ions hydrogène H^+ . Il est défini comme le logarithme négatif de la concentration en ions hydrogène : $pH = -\log [H^+]$. Chaque espèce se développe dans une gamme définie de pH et possède un pH optimum de croissance : Acidophiles (1 à 5.5), Neutrophiles (5,5 à 8), Alcalophiles ou basophiles (8,5 à 11,5). En général, les bactéries sont neutrophiles [63].

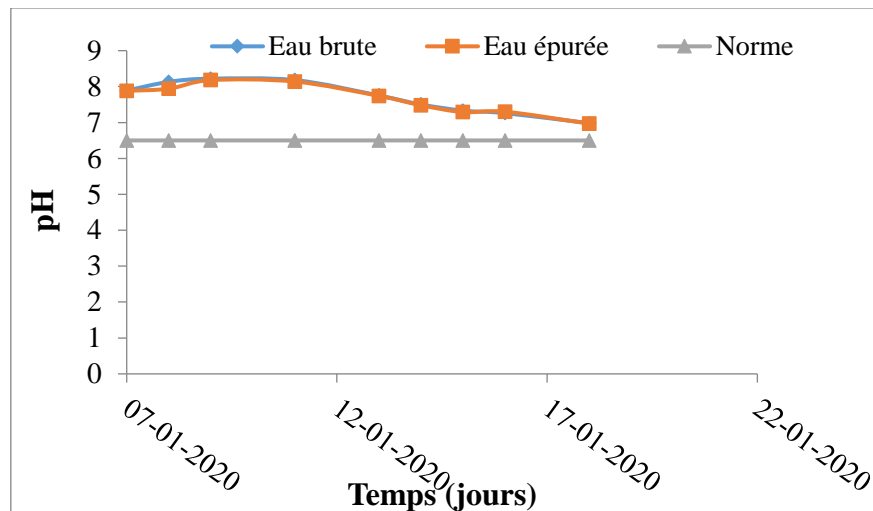


Figure IV. 4 : Variations des valeurs de pH d'une eau brute et épurée.

L'analyse de l'évolution quotidienne du pH, au niveau de l'eau brute et l'eau épurée, montre que les valeurs moyennes du pH pour les différents échantillons sont presque identiques pour les deux points étudiés : bioréacteur et clarificateur. Les valeurs de pH d'eau usée avant traitement sont comprises entre 6.98 et 8.22 avec une moyenne de 7.69. En ce qui concerne l'eau traitée ou épurée, le pH est varié entre 6.97 et 8.18 avec une moyenne de 7.65. Donc, nous pouvons dire que les résultats obtenus s'avèrent conforme à la norme de l'OMS qui est comprise entre 6,5 et 8,5.

IV.4.3. Variation de la conductivité électrique CE

La conductivité est un paramètre qui influe sur la croissance des bactéries. Il est important de la contrôler dans le bassin d'aération, d'autant plus que les bactéries sont sensibles à sa variation [63]. Les résultats obtenus sont représentés sur la figure (IV.5).

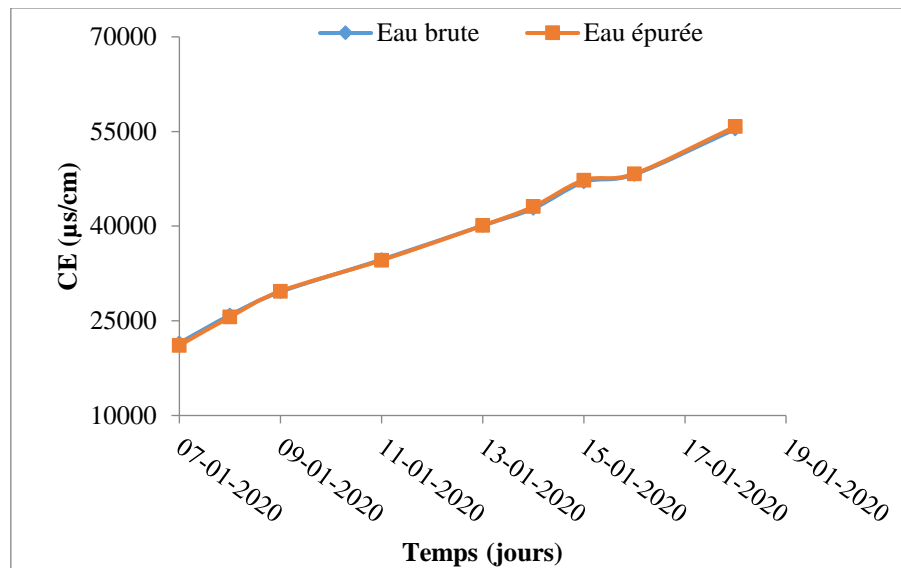


Figure IV.5 : Variation des valeurs de conductivité d'une eau brute et épurée.

D'après la figure (IV.5), l'analyse des résultats de la conductivité électrique au niveau des eaux brute et épurée, au cours de traitement par boue activée montre qu'une augmentation de la conductivité électrique indiquant que l'eau à traiter est fortement chargée en ions, ces ions proviennent probablement de la composition de la solution nutritive.

IV.4.4. La turbidité

La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau. La turbidité traduit la présence de particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques). Cependant une turbidité forte peut permettre à des micro-organismes de se fixer sur des particules en suspension [64]. Les résultats obtenus sont donnés sur la figure (IV.6).

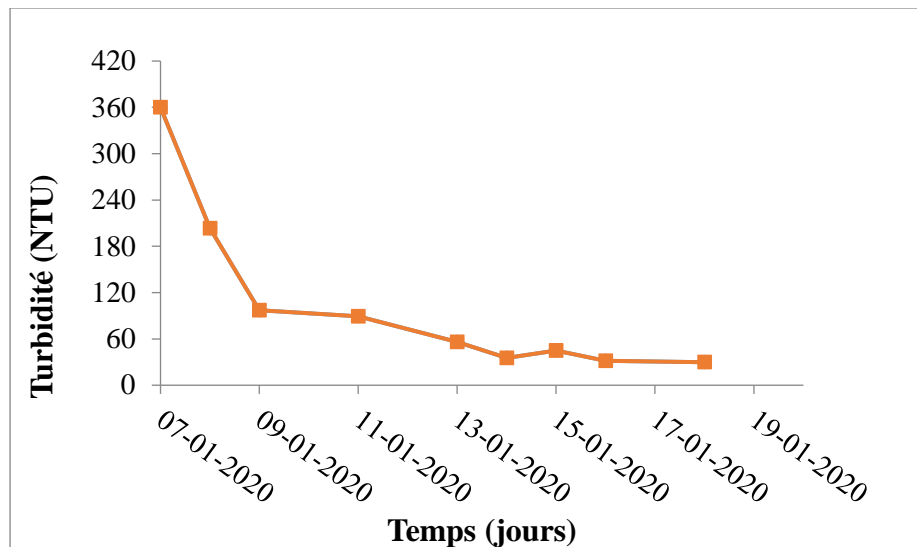


Figure IV.6: Variation de la turbidité en fonction du temps.

D'après les résultats trouvés, nous constatons que la turbidité a diminué au cours du temps de 655 NTU à 29.8 NTU. Cette diminution est due à la dégradation des matières organiques contenue dans l'eau brute.

IV.4.5. Variation des MES

C'est la quantité de pollution organique (MVS) et minérale (MMS) non dissoute dans l'eau. Elles constituent un paramètre important qui marque bien le degré de pollution d'un effluent urbain ou même industriel. Les MES s'expriment par la relation suivante [60]:

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

La figure (IV.7) montre la variation de la concentration des matières en suspension (MES) de l'eau brute et l'eau traitée.

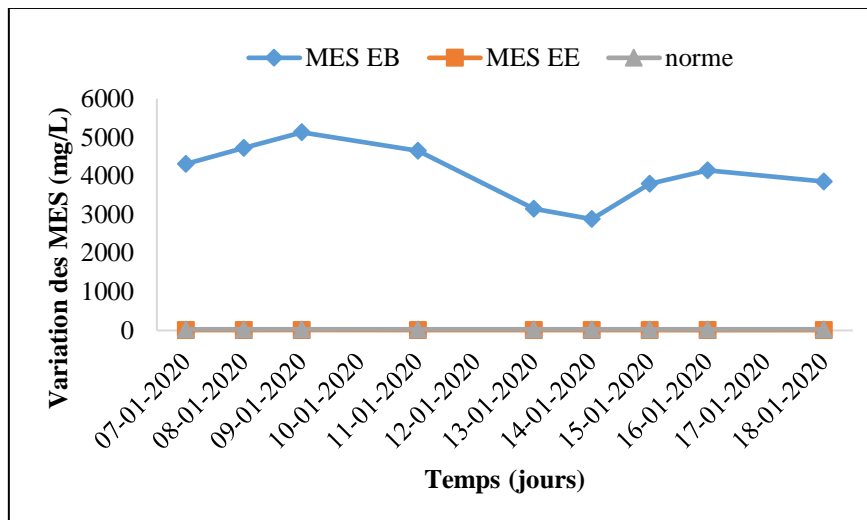


Figure V.7: Variation journalière de la concentration des MES.

En examinant les résultats trouvés, on remarque que pour l'eau brute, les valeurs de MES pratiquement ne varient pas, les valeurs sont autour de 5125 mg/L et 2880 mg/L avec une moyenne de 4069,8 mg/L. Ceci peut être expliqué par une stabilité de la qualité des eaux à l'entrée du bioréacteur.

En ce qui concerne les valeurs de MES à la sortie de bioréacteur (eaux traitées) sont comprises entre 11,25 mg/L à 7,2 mg/l avec une moyenne de 9,95 mg/L sur la durée de l'expérience. Cette valeur est inférieure à la norme de rejet en Algérie (30 mg/L). Cette diminution dépend à l'origine des eaux usées que nous traitons, ou à une bonne décantation de la boue dans le clarificateur.

IV.4.6. Variation des MVS

Elles représentent la fraction organique des MES et sont obtenues par calcination de ces MES à 525 °C pendant 2 heures. La différence de poids entre les MES à 105 °C et les MES à 525 °C donne la perte au feu et correspond à la teneur en MVS en (mg/l) d'une eau [60]. La figure (IV.8) montre la variation de la concentration de boues dans le bassin d'aération durant la période des expériences.

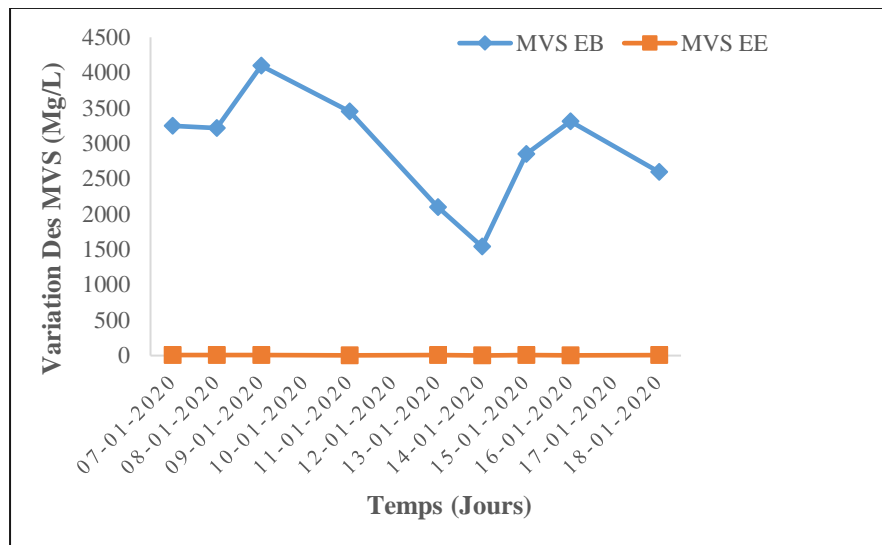


Figure IV.8: Variation de la concentration des boues (exprimée en MVS) dans le bassin d'aération et décanteur.

La figure (IV.8) indique que les valeurs des matières en suspension (MES) enregistrées pendant la période de prélèvement varient entre une valeur minimale 1540 mg/l et une valeur maximale 4098 mg/l de l'eau brute. Cette variation est due au taux de recirculation de la boue. En ce qui concerne l'eau traitée la variation des MVS est entre 6,5 et 1.3 mg/L, ces valeurs sont, peut-être, due à la bonne décantation dans le décanteur.

IV.4.7. Evolution de la dégradation de BM

L'élimination de la pollution dans les procédés à boues activées se fait grâce à la biomasse qui correspond à des matières volatiles en suspension (MVS). Les bactéries utilisent une source de carbone organique comme substrat. Ainsi, elles réalisent la dégradation de la pollution carbonée. Étant capables de se développer en milieu aéré (aérobie). Les résultats obtenus sont donnés sur la figure (IV.9).

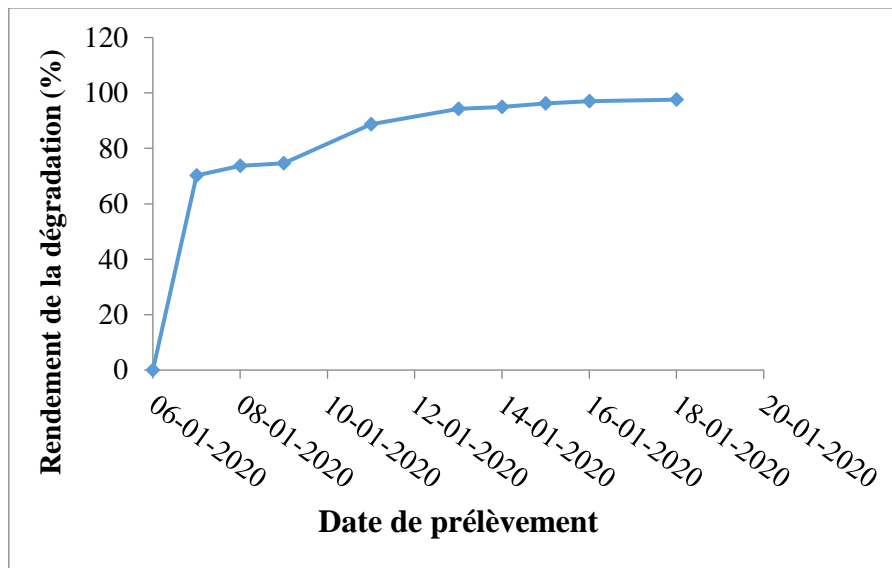


Figure IV.9 : Variation de BM en fonction du temps.

D'après les résultats présentés sur la figure (IV.9), montre qu'au cours du temps de traitement, le bleu de méthylène subit une dégradation par les bactéries présentes dans le bassin d'aération. Le taux d'épuration de BM par les boues activées atteint 97%. Ce résultat peut être expliqué par la consommation de la pollution carbonée par les microorganismes. Cette dernière consommera le carbone qu'est utilisée avec les nutriments nécessaire à leurs développements et leurs croissances qui finissent par la consommation presque totale de la source de carbone.

IV.4.8. Evolution de la DBO₅

La figure (IV.10) donne la variation de la concentration de la DBO₅ durant la période de traitement.

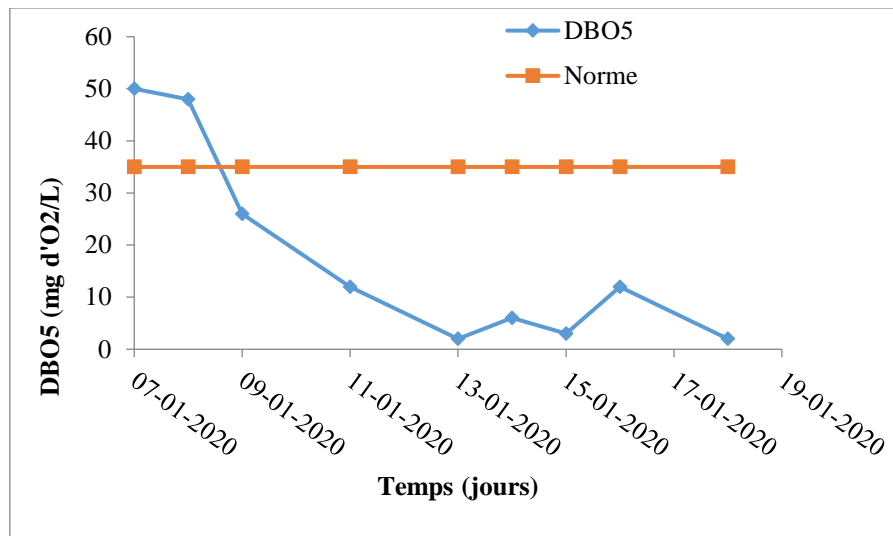


Figure IV.10: Variation journalière de la demande biologique en oxygène (DBO₅).

La figure (IV.10) représente la variation de la DBO₅ pendant la période de traitement, on constate que les valeurs de la DBO₅ varient entre 50 à 2 mg/L avec une moyenne de 26 mg/L, cette figure montre aussi qu'il y'a des valeurs qui sont supérieures à la norme et des valeurs inférieures, ceci peut être expliqué par la mauvaise aération dans le bassin biologique.

IV.5. Les paramètres de fonctionnement d'un bioréacteur

IV.5.1. Evolution de la charge massique

La charge massique représente le rapport de la masse de nourriture entrant quotidiennement dans l'aérateur et la quantité de biomasse contenue dans l'aérateur, elle caractérise l'équilibre biologique du traitement. Une exploitation en faible charge consiste à fournir peu d'éléments nutritifs à un écosystème épurateur concentré, tandis que c'est l'inverse en forte charge [65]. La figure (IV.11) représente l'évolution de la charge massique en fonction du temps.

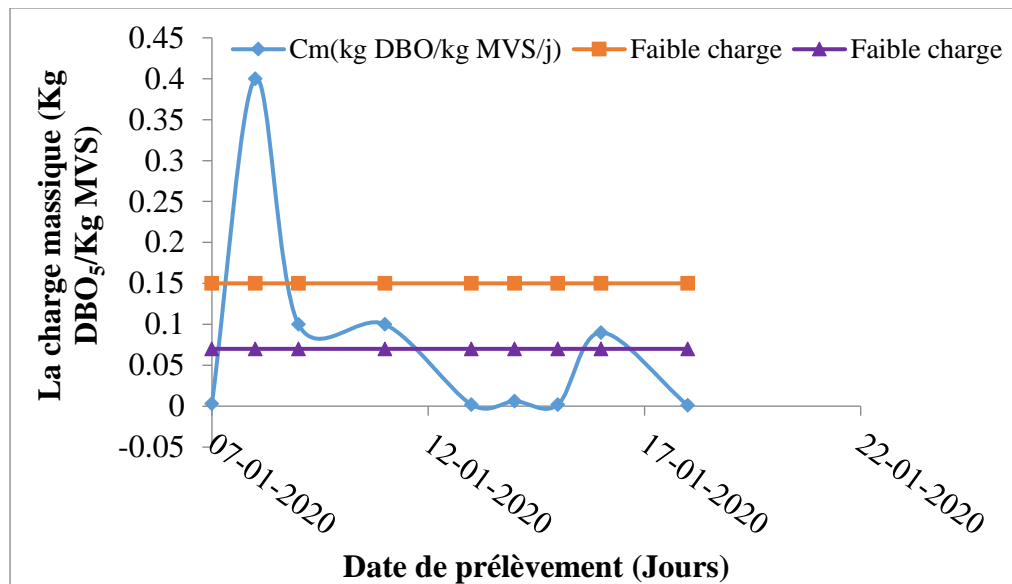


Figure IV.11: Variation de charge massique (C_m) dans le bassin d'aération.

Selon les résultats indiqués, il en ressort que le pilote fonctionne correctement en faible charge et très faible charge ($0,07 \text{ kg DBO}_5/\text{kg MVS.j} < C_m < 0,15 \text{ kg DBO}_5/\text{kg MVS.j}$). A l'exception d'un léger dépassement observé égale à $0,4 \text{ kg DBO}_5/\text{kg MVS.j}$. Cette stabilisation de la charge massique dans le temps est due à la bonne gestion de la masse de boue dans le système et ceci par extractions régulières.

IV.5.2. La Charge Volumique CV

Un second rapport, également pris en considération est appelé Charge volumique, C_v : il correspond au quotidien du poids journalier de DBO_5 appliqué, rapporté au volume unitaire du bassin d'aération, elle permet d'estimer la capacité du bassin d'aération, exprimé en $\text{Kg DBO}_5/\text{m}^3/\text{j}$ [65]. La figure (IV.12) illustre la variation de la charge volumique.

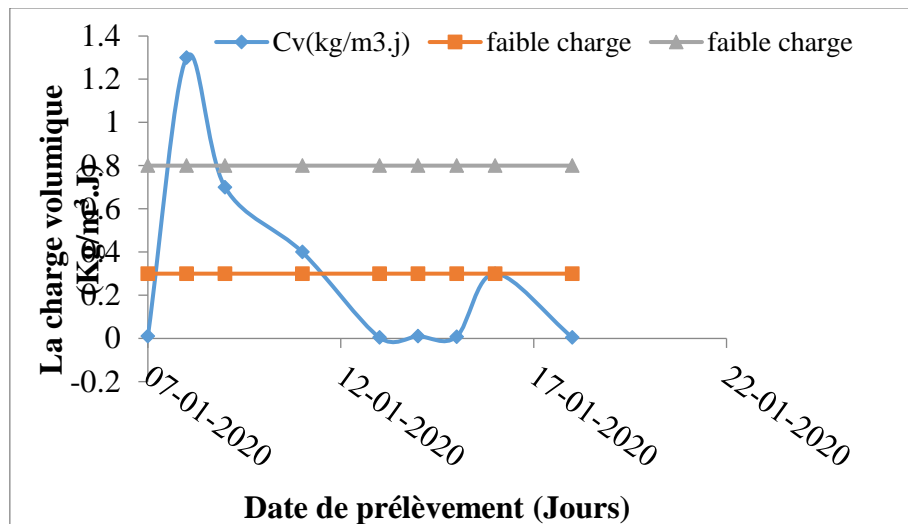


Figure IV.12 : Variation de la charge volumique dans le bassin d’aération.

D’après la figure (IV.12), on remarque que le pilote fonctionne en faible charge et très faible charge ($0.3 < C_v < 0.8$), avec un léger dépassement pour certains jours.

IV.5.3. Evolution de L’indice de Mohlman et l’indice de Boue

L’indice de Mohlman nous permet de contrôler la qualité de boue activée maintenue dans les bassins d’aérations ainsi que la qualité de décantabilité au niveau du clarificateur. Cet indice est exprimé en mL/g et calculé à partir de V_{30} et MES du bassin selon la relation (III.6 et III.7). Le tableau (IV.2) regroupe les valeurs d’IM et IB calculées.

Tableau IV.2 : Valeur de l’indice de Mohlman et l’indice de boue.

Date	MS (g/L)	V_{30} (mL)	V_{30} corrigé	IM (mL/g)	IB (mL/g)
07-01-2020	3.5	237	230	78	65.7
08-01-2020	3.1	251.1	210	81	67.7
09-01-2020	3	240	223	80	74.3
11-01-2020	2.8	238	209	85	74.6
13-01-2020	2.5	208.75	235	83.5	94
14-01-2020	1.8	154.8	233.6	86	129.7
15-01-2020	2.5	220	237	88	94.8
16-01-2020	2.9	246.5	236	85	81.37
18-01-2020	1.6	138.08	229.8	86.3	143.5

Selon la valeur de l'Indice de Mohlman on peut distinguer trois catégories de décantabilité [65]:

Si : $IM < 50 \text{ mL.g}^{-1}$: Mauvaise décantation,

Si : $50 < IM < 150 \text{ mL.g}^{-1}$: Bonne décantation,

Si : $IM > 150 \text{ mL.g}^{-1}$: Phénomène de building (Foisonnement des bactéries filamenteuse).

La figure (IV.13) présente la variation des valeurs de l'Indice de Mohlman et l'indice de boue au niveau du bassin d'aération.

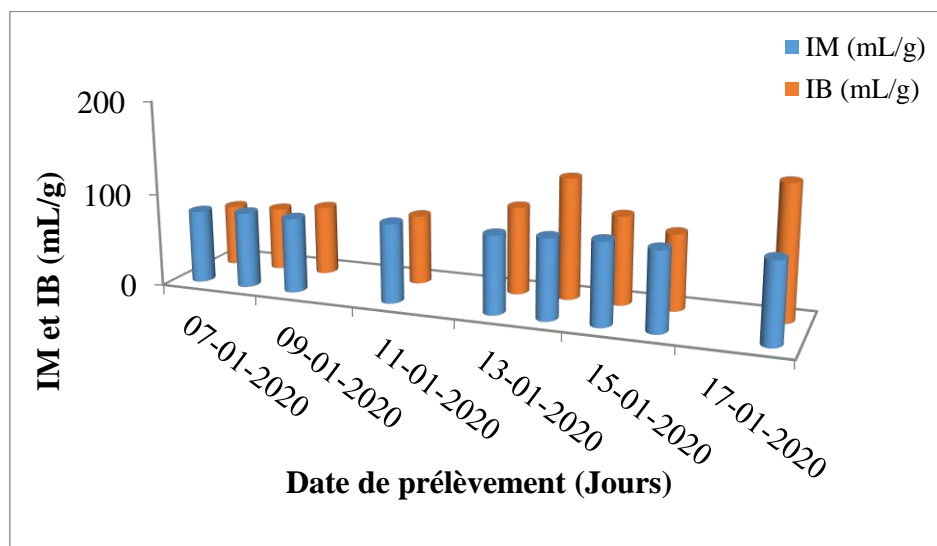


Figure IV.13 : Variation de l'indice de Boue et l'indice de Mohlman.

Les valeurs de (IB) oscillent entre 65,7 et 143,5 mL/g (figure IV.13). Pour une boue qui décante bien, l'indice de Mohlman doit être inférieur à 150 mL.g^{-1} . Le décanteur d'un pilote d'épuration fonctionne correctement pour des valeurs d'indice de Mohlman inférieures à 150 mL.g^{-1} . Les résultats des tests de décantation en éprouvette (indice de boues), montrent que pour toute la durée de traitement allant de 07 au 18/01/2020, toutes les valeurs de l'indice de boue sont inférieures à la valeur fixée à 150 mL/g avec des valeurs varient de 65,7 à 143,5 mL/g

En conclusion, le pilote d'épuration fonctionne correctement en faible charge et très faible charge. Sa charge massique n'excède pas 0.2 kg DBO₅/kg MVS.j (0.07 kg DBO₅/kg MVS.j < C_m < 0.15 kg DBO₅/kg MVS.j). Cette stabilisation de la charge massique dans le temps est due à la bonne gestion de la masse de boue dans le système et ceci par extractions régulières. La charge volumique fonctionne également en faible charge.

Les eaux usées sont des milieux extrêmement complexes, altérées par les activités anthropiques à la suite d'un usage domestique, industriel, agricole ou autre. Elles sont considérées comme polluées et doivent être donc traitées avant toute réutilisation ou injection dans les milieux naturels récepteurs. Le traitement de ces eaux est une alternative susceptible de résoudre les différents problèmes de pollution des milieux aquatiques récepteurs. Il s'agit essentiellement de réaliser l'élimination de composés organiques biodégradables. Certains procédés, comme le PBA, permettent l'élimination de carbone, de l'azote et même du phosphore. Une grande majorité de ces polluants est transférée de la phase liquide vers une phase concentrée boueuse.

Ce travail avait pour objectif, l'étude de dégradation du bleu de méthylène (MB), par le procédé biologique à boues activées. La dégradation des colorants est effectuée par l'action des microorganismes épuratrices présentés dans le milieu à traiter. Le suivi de l'élimination des paramètres de pollution à savoir : le pH de l'eau, la température, la conductivité, les matières en suspension (MES) et les MVS, nous ont permis d'évaluer les performances de fonctionnement de cette station en matière de dépollution de l'eau et du respect de l'environnement. Les conclusions suivantes ont été tirées :

1. La courbe de croissance bactérienne montre que les microorganismes utilisent le bleu de méthylène comme source de carbone nécessaire à leur développement.
2. La réactivité des boues par la nutrition quotidienne est essentiel pour augmenter leur efficacité avant l'usage.
3. L'ensemble des résultats obtenus montre que l'application du pilote à boues activées, est parfaitement adaptée à l'élimination simultanée de la charge polluante.
4. Les résultats trouvés pour la température, le pH et la conductivité de l'eau traitée sont conformes aux normes. La concentration du BM est dégradée grâce à l'action des microorganismes présente dans les boues 97%.

Enfin, Il en ressort que l'ensemble des résultats ainsi obtenus mettent en évidence les performances de fonctionnement du pilote à boues activée. Ce système de traitement fait ressortir de meilleurs rendements que ce soit pour l'élimination de la pollution carbonée ou la réduction de la turbidité. Pour la plupart des échantillons analysés, les concentrations des principaux paramètres de pollution dans l'eau épurée sont faibles et au-dessous des normes Algériennes applicables en matière de rejet des effluents.

[1] : OUANOUI.B, « Traitement des eaux usées », Les Pages Bleues Internationales, Septembre 2014.

[2] : CHEVALIER.G, BACCHIM, « Conception d'une station de traitement des eaux usées dans une commune rurale », document technique, département Aménagement et Environnement, Université Française-Rabelais, 2015.

[3] : PANDOLFI.D, « Caractérisation morphologique et physiologique de la biomasse des boues activées par analyse d'images », Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, 2006.

[4] : AYAD.W, « Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines : cas des puits de la région d'El-Harrouch (wilaya de Skikda) », Thèse de doctorat, Université BADJI MOKHTAR – ANNABA, 2017.

[5] : GOUDET.P, KOUALSKI.A, « physique et chimie : 1^{er} et terminal bac pro », Educagri éditions, Dijon 2011.

[6] : CALAMARI.D, NAEVE.H, « Revue de la pollution dans l'environnement aquatique africain », FAO, 1994.

[7] : RAMADE.F, « Introduction à l'éco-chimie : les substances chimiques de l'écosphère à l'homme », Lavoisier, 2011.

[8] : MEKHALIF.F, «Réutilisation des eaux résiduaires industrielles épurées comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement », Mémoire de Magister, Université du 20 Août 1955 SKIKDA, 2009.

[9] : STELLMAN. J-M, « Encyclopédie de sécurité et de santé au travail », volume 2, Organisation Internationale du Travail, 2000.

[10] : CRINI.G-R, BADOT.P-M, « Traitement et épuration des eaux industrielles polluées: procédés membranaires, bio-adsorption et oxydation chimique », Université de Franche-Comté, 2007.

[11] : SERVAIS.P, « Contamination bactérienne et virale », Editions Quae, 2000.

[12] : MALQUIOT.P, « 1.001 mots et abréviations de l'environnement et du développement durable », Editions RECYCONSULT, 2003.

[13] : GRAY.J-S, MCLNTYRE. A-D, STRN.T, « Manuel des méthodes de recherche sur l'environnement aquatique », FAO, 1992.

[14] : GENIN.B, CHAUVIN.C, MENARD.F, « Cours d'eau et indices biologiques : pollution, méthodes, IBGN », Educagri éditions, Dijon 2003.

[15] : « La performance environnementale de l'agriculture dans les pays de l'OCDE depuis 1990 », OCDE, 2008.

[16] : CHARRIE.J-P, « Bordeaux-Toulouse : approches métropolitaines (2) », Sud-Ouest Européen, n° 4, 1999.

[17] : FOFANA.M, « Diagnostique du fonctionnement du système d'assainissement des eaux usées domestiques », Editions Connaissance et savoirs, 2017.

[18] : GROSCLAUDE.G, « L'eau : tome 2 : usages et polluants », INRA, Paris, 1999.

[19] : ELLIS.B, CHOCAT.B, FUJITA.S et al, « Urbain drainage », IWA Publishing, 2004.

[20] : CAMILLE.D, « Surveillance sanitaire et microbiologiques des eaux », Lavoisier, 2010.

[21] : DERWICHE.E, BENAADATE.L, ZIAN.A et al, « Caractérisation physicochimiques des eaux de la nappe alluviale du haut Sebou en aval de sa confluence avec oued Fès », Larhyss Journal n° 8, Juin, 2010.

[22] : HADE.A, « Nos lacs : les connaître pour mieux les protéger », Editions FIDES, 2002.

[23] : COLLETTE.N, FRANCOISE.L, « L'écologie », Lavoisier, 2010.

[24] : PIMPEC.P, LIENARD.A, BONNARD.R, « Guide de l'agent préleveur chargé de la police des milieux aquatiques », Edition 2002.

[25] : DJEDDI.H, « Utilisation des eaux d'une station d'épuration pour l'irrigation des essences forestières urbaines », Mémoire de Magister, Université Mentouri Constantine, 2006-2007.

[26] : ABIBSI.N, « Réutilisation des eaux usées épurées par filtres plantes (phytoepuration) pour l'irrigation des espaces verts application á un quartier de la ville de Biskra », Mémoire de Magister, Université Mohamed Khider – Biskra, 2011.

[27] : BALASKA.A, « Traitement de l'eau usée de la laiterie Edough – Annaba par des procédés physicochimiques et biologiques », Mémoire de Magister, Université BADJI MOKHTAR ANNABA, 2005.

[28] : BAKIRI.Z, « Analyse et optimisation des eaux usées urbaines par boues activées : application au décanteur secondaire », Thèse de doctorat, Université Ferhat Abbas Sétif -1, 2014.

[29] : « Les eaux usées une ressource inexploitée », Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2017, UNESCO, 2017.

[30] : OLIVEIRA.P, CAROLE.C-S, MARION.A et al, « Procédé de traitement des eaux usées par boues activées : lien entre les propriétés morphologiques des floes et l'âge de boue », Revue des sciences de l'eau, Journal of Water Science, Volume 30, Université du Québec, 2017.

[31] : OUALI.M-S, « Cours de procédés unitaires biologiques et traitement des eaux », OFFICE des publications universitaires, 2008.

[32] : DHAOUADI.H, « Traitement des Eaux Usées Urbaines : les procédés biologiques d'épuration », Université Virtuelle de Tunis, 2008.

[33] : ALEXANDRE.O, LAGRANGE.C, VICTROIRE.R, « Stations d'épuration des petites collectivités », Editions Quae, 2006.

[34] : BERG.L-R, RAVEN.P-H, HASSENZAHID-M, « Environnement », groupe de Boeck s.a, 2009.

[35] : FAURIE.C, « Ecologie approche scientifique et pratiques », 6^{em} édition, Lavoisier, 2012.

[36] : JOLLIET.O, SAADE.M, CRETTAZ.P, « Analyse du cycle de vie : comprendre et réaliser un écobilan », PPUR Presses polytechniques, 2005.

[37] : LACHASSAGNE.D, « Devenir de micropolluants présents dans les boues d'épuration, du traitement à l'épandage agricole : Application aux micropolluants métalliques (Cd, Cu) et organiques (médicaments) issus du traitement biologique conventionnel d'effluents urbains ou hospitaliers », thèse de doctorat, Université de Limoges, 2014.

[38] : BAKIRI.Z, « traitement des eaux usées par des procédés biologiques classiques : expérimentation et modélisation », Mémoire de magister, Université Ferhat Abbas-Sétif UFAS (Algérie), 2007.

[39] : COULER.J-P, PERRET.J-M, DUCHENE.P et al, « Aide au diagnostic des stations d'épuration par l'observation microscopique des boues activées », Editions Quae, 2011.

[40] : MAUBERT.F, SIONNEAU.J-M, FERLAY.D, « Notice d'impact sur l'environnement d'une station d'épuration des eaux », Commune de BAR sur LOUP (Alpes Maritimes), Bureau de Recherches Géologiques et Minières, 1987.

[41] : « ouvrages de traitement par boues activées : guide d'exploitation », Partenariat, 2015.

[42] : ALLAOUI.K, « Modélisation hydraulique d'un bassin d'aération des stations d'épuration des eaux usées », Mémoire de magister, Université Badji Mokhtar-Annaba, 2009.

[43] : FALCON.Y, « Les ouvrages de génie civil des stations d'épuration des petites collectivités conception et dimensionnement rapide », Mémoire d'ingénieur CNAM, Centre régional associé de Lyon, 2010.

[44] : BOUKERROCHA.A, « Modélisation des stations d'épuration à boues activées : cas de la station de Baraki (Alger) », thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie EL HARRACH- ALGER, 2011.

[45] : PRONOST.J, PRONOST.R, DEPLAT.L et al, « Stations d'épuration : dispositions constructives pour améliorer leur fonctionnement et faciliter leur exploitation », document technique, office international de l'eau CNFME/SNIDE, 2002.

[46] : CANLER.J-P, PERRET.J-M, 2013, « La réduction de boues par voie biologique par le procédé MycET », Document technique N° 39, mars 2013.

[47] : LAURENT.J-L, GUETTIER.P, IWEMA.A et al, « L'assainissement des agglomérations : techniques d'épuration actuelles et évolutions », document réalisé par les Agences de l'eau et le ministre de l'environnement, 1994.

[48] : ATTAB.S, « Amélioration de la qualité microbiologique des eaux épurées par boues activées de la station d'épuration Haoud Berkaoui par l'utilisation d'un filtre à sable local », mémoire de magister, Université KASDI MERBAH-OUARGLA, 2011.

[49] : BASSOMPIERRE.C, « Procédé à boues activées pour le traitement d'effluents papetiers : de la conception d'un pilote à la validation de modèle », thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble-INPG, 2007.

[50] : EDELINE.F, « L'épuration biologique des eaux », 4^e édition, Editions CEBEDOC sprl, Liège, 1997.

[51] : DUCHENE.PH, PUJOL.R, PAYRAUDEAU.M, « Guide de lutte contre les mousses biologiques stables dans les stations d'épuration à boues activées », document technique FNDAE HORS SERIE, 1993.

[52] : CANLER.J-P, 2004, « Dysfonctionnements biologiques des stations d'épuration : origines et solutions », FNDAE n° 33, Document technique, Cemagref, 2004.

[53] : « Ligne directrice de l'OCDE pour les essais de produits chimiques », Adoptée par le conseil le 17-07-1992.

[54] : CARDOT.C, GILLES.A, « Analyse des eaux : réglementation, analyses volumétriques et spectrophotométriques, statistiques cours et exercices corrigés », Ellipses édition Marketing S.A, 2013.

[55] : CHEBLI.D, « Traitement des eaux usées industrielles: Dégradation des colorants azoïques par un procédé intégré couplant un procédé d'oxydation avancée et un traitement biologique », thèse de doctorat, Université FERHAT ABBAS, 2012.

[56] : MARTIN.L, « Introduction à la microbiologie », Editions du Renouveau Pédagogique INC, 2012.

[57] : SAIDI.F-M, « Elimination du Bleu de Méthylène par des Procédés d'Oxydation Avancée », Mémoire de Magister, Université Abou Bakr Belkaid- TLEMCEM, 2013.

[58] : TAGHEZOUT.F, « Impact environnemental des rejets d'eau le long du littoral occidental Algérien », Mémoire de magister, Université d'Oran, 2015.

[59] : ALLALGUA.A, KAOUACHI.N, BOUALEG.C et al, « Caractérisation Physico-Chimique des eaux du barrage Foug El-Khanga (Région de Souk-Ahras, Algérie) », volume 13, Européen Scientific Journal, April 2017.

[60] : HAMOUGA.K, MEDILA.S, « Contribution à l'étude les caractéristiques physico-chimiques, bactériologiques et micro-algales des eaux usées dans une station de traitement des eaux polluées (Cas de STEP 2 de HASSANI ABDELKIRIM dans la région d'EL-OUED) », Mémoire de master, Université Echahid Hamma Lakhdar -El OUED, 2017.

[61] : FLANDROIS.J-P, COURCOL.R, LEMELAND.J-F et al, « Bactériologie médicales », Presses universitaires de Lyon, 1997.

[62] : TEBIDEL.N-G, KAHLOUCHE.B, GUEMOURIS-A, « Microbiologie : travaux pratiques », OFFICE des publications universitaires, 2015.

[63] : PRESCOTT.L-M, WILLEY.J-M, SHERWOOD.L-M et al, « Microbiologie de Prescott », de Boeck supérieur s.a, 2008.

[64] : Site : https://www.oieau.fr/ReFEA/fiches/AnalyseEau/Physico_chimie_PresGen.htm.

[65] : MOHAMED.B, « traitement de boue de la station d'épuration d'Al-Hoceima », mémoire de master, 2015.

Résumé

Les eaux usées sont susceptibles de renfermer et véhiculer une grande variété de polluants organiques et d'agents pathogènes pour l'homme. Le traitement de l'eau usée par le PBA a pour but principale d'éliminer ou détruire ces polluants. L'épuration des eaux usées s'est donc imposée pour préserver la qualité des milieux naturels et notamment les eaux de surface et souterraines.

L'objectif principale de ce travail a concerné d'une part à la conception d'un pilote expérimentale de traitement à boues activées appliqué à l'élimination et à la dégradation d'un colorant organique et, d'autre part, analysé leur efficacité. Nous avons déterminé les indicateurs ou les paramètres physico-chimiques de la pollution à savoir la DBO₅, MES, MVS, la température, le pH, ...etc. Le suivi des analyses a été effectué durant 9 jours. L'ensemble des résultats obtenus montre que l'application du pilote à boues activées, est parfaitement adaptée à l'élimination simultanée de la charge polluante. Les résultats trouvés pour la température, le pH et la conductivité de l'eau traitée sont conformes aux normes. La concentration du BM est dégradée grâce à l'action des microorganismes présente dans les boues. Le pilote d'épuration fonctionne correctement en faible et en très faible charge.

Abstract

Wastewater can contain and carry a wide variety of organic pollutants and human pathogens. The main purpose of the treatment of wastewater by the PBA is to eliminate or destroy these pollutants. Wastewater treatment is therefore essential to preserve the quality of natural environments, and in particular surface and groundwater.

The main objective of this work concerned on the one hand the design of an experimental pilot of activated sludge treatment applied to the elimination and degradation of an organic dye and, on the other hand, to analyze their efficiency. We have determined the indicators or the physico-chemical parameters of the pollution, namely BOD₅, MES, MVS, temperature, pH, etc. The analyzes were followed up for 9 days. All of the results obtained show that the application of the activated sludge pilot is perfectly suited to the simultaneous elimination of the pollutant load. The results found for the temperature, pH and conductivity of the treated water comply with the standards. The concentration of BM is degraded by the action of microorganisms present in the sludge. The purification pilot works correctly at low and very low loads.

ملخص

يمكن أن تحتوي مياه الصرف الصحي وتحتوي مجموعة متنوعة من الملوثات العضوية ومسببات الأمراض البشرية. الغرض الرئيسي من معالجة المياه العادمة بواسطة الحمأة النشطة هو القضاء على هذه الملوثات أو تدميرها. لذلك فإن معالجة مياه الصرف الصحي ضرورية للحفاظ على جودة البيئات الطبيعية، وخاصة المياه السطحية والجوفية.

يتعلق الهدف الرئيسي من هذا العمل من ناحية بتصميم تجربة لمعالجة مياه الصرف الصحي بالحمأة المنشطة المطبقة على إزالة الصبغة العضوية وتحللها، ومن ناحية أخرى، تحليل كفاءتها. لقد حددنا المؤشرات أو المعلمات الفيزيائية والكيميائية للتلوث، وهي BOD₅ وMES وMVS ودرجة الحرارة ودرجة الحموضة وما إلى ذلك. تمت متابعة التحليلات لمدة 9 أيام. تظهر جميع النتائج التي تم الحصول عليها أن تطبيق دليل الحمأة المنشطة مناسب تمامًا للتخلص المتزامن من حمل الملوثات. النتائج التي تم العثور عليها لدرجة الحرارة ودرجة الحموضة والتوصيل للمياه المعالجة تتوافق مع المعايير. يتحلل تركيز BM بفعل الكائنات الحية الدقيقة الموجودة في الحمأة. يعمل دليل التنقية بشكل صحيح في الأحمال المنخفضة والمنخفضة جدًا.