

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE MICROBIOLOGIE & BIOCHIMIE

N°:



DOMAINE : SCINCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

FILIERE : SCIENCE ALIMENTAIRE

OPTION : QUALIÉ DES PRODUITS ET SÉCURITÉ
ALIMENTAIRE

Mémoire présenté pour l'obtention

Du diplôme de Master professionnelle

Par : AMROUNE Chourayh Abd-elwahid,

BENMOHAMED Mohamed Taher et TOUATI Ala Eddine

Intitulé

**Etude de la station de traitement des eaux usées
de l'usine Lafarge ciment de M'sila**

Soutenu devant le jury composé de :

Dr. RAHALI Abdellah	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Président
Dr. DRIF Seif eddine	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Rapporteur
Dr. NOUFEL Kamel	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Examineur

Année universitaire : 2021 /2022

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail : à mon exemple éternel, et mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir Mamito ma cher et la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur, que dieu la préserve pour nous et lui accorde longue vie mon père MESSAOUDE Amroune.

A mes frères Dadi Bahi Tomoch tchomchom.

A tous enseignants, mettre KHENICH Abd el Hakim et Dr BERRABEH Fouade et mettre RAHALI.

Et tous ceux qui m'aiment et mes collègues dans l'étude de l'année (2021/2022).

Et à mes amis dans ce travail BENMOHAMED Mohamed taher, et mon cher frère TOUATI Ala Eddine.

AMROUNE Chourayh Abd-elwahid

REMERCIEMENTS

Nous remercions avant tout Dieu de nous avoir donné la volonté et la santé pour réaliser ce modeste travail.

Nous avons l'honneur et le plaisir de présenter notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à notre encadreur Dr. DRIF Seif Eddine, pour son précieux soutien, ses orientations et le temps qu'il nous a accordé pour notre encadrement : Merci du fond du cœur Monsieur car ce fut un immense plaisir de travailler avec vous.

Nos remerciements vont également aux membres du jury qui nous feront l'honneur de juger ce travail.

Nous adressons également notre profonde gratitude à tous les professeurs de l'université Mohamed Boudiaf de M'Sila en particulier ceux du département de microbiologie et biochimie. Votre enseignement a porté ses fruits.

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Sommaire

Résumé	iii
Liste des abréviations	iv
Liste des figures	v
Listes des tableaux	vii
Introduction	1
Chapitre I. GENERALITE SUR LES EAUX USEES	2
I.1. Définition :	2
I.2. Origine des eaux usées :	2
I.2.1. Les eaux usées domestique :	2
I.2.2. les eaux de pluie et de ruissellement :	2
I.2.3. Les eaux usées industrielles :	2
I.2.4. Les eaux usées agricoles :	3
I.3. Principaux types de pollution des eaux :	3
I.3.1. La pollution minérale :	3
I.3.2. Pollution organique :	3
I.3.3. Pollution microbiologique :	4
I.4. Caractéristiques des eaux usées :	4
I.4.1. Paramètres physiques :	4
I.4.1.1. La température (T°) :	4
I.4.1.2. Les matières en suspension (MES) :	4
I.4.1.3. La turbidité :	4
I.4.1.4. La conductivité électrique (CE) :	5
I.4.2. Paramètres chimiques :	5
I.4.2.1. Le potentiel Hydrogène (pH) :	5
I.4.2.2. Demande chimique en oxygène (DCO) :	5
I.4.2.3. Azote :	5

I.4.2.4.	Le phosphore :	5
I.4.2.5.	La demande biochimique en oxygène (DBO) :	6
I.4.3.	Paramètres biologique :	6
I.4.3.1.	La biodégradabilité :	6
I.4.3.2.	Les bactéries :	7
I.4.3.3.	Les virus :	7
I.4.3.4.	Les protozoaires :	8
I.4.3.5.	Les helminthes :	8
I.5.	Les impacts environnementaux des eaux usées :	8
I.6.	Réglementations et normes :	9
I.6.1.	Les recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) :	9
I.6.2.	Les normes Algériennes de rejet des effluents :	10
I.7.	Procédés de traitement des eaux usées :	12
I.7.1.	Prétraitement :	12
I.7.1.1.	Dégrillage :	12
I.7.1.2.	Le dessablage :	12
I.7.1.3.	Le dégraissage-déshuilage :	12
I.7.2.	Traitement primaire:	13
I.7.3.	Traitement secondaire :	14
I.7.3.1.	Le traitement biologique aérobie :	14
I.7.3.2.	Traitement biologique anaérobie :	15
I.7.3.3.	Traitement biologique par boues activées :	15
I.7.3.4.	Traitement biologique par lit bactérien :	16
I.7.4.	Les traitements tertiaires :	16
I.7.4.1.	La désinfection :	17
I.7.4.2.	Les traitements de finition :	17
I.8.	Traitement des boues :	17

I.8.1.	L'épaississement :	17
I.8.2.	La digestion anaérobie :	18
I.8.3.	La digestion aérobie :	18
I.8.4.	La déshydratation :	18
I.8.5.	Le séchage thermique ou solaire :	18
I.9.	Les différentes voies de valorisation et d'élimination des boues :	18
Chapitre II. PRESENTATION DE LA CIMENTERIE LAFARGE DE M'SILA ET SA STATION D'ÉPURATION DES EAUX USÉES		21
II.1.	Présentation de la cimenterie Lafarge de M'sila (LCM) :	21
II.2.	Introduction sur le Groupe Lafargeholcim Algérie :	21
II.3.	Filières du Groupe Lafargeholcim Algérie :	22
II.3.1.	Granulats:	22
II.3.2.	Béton:	22
II.3.3.	Ciment :	22
II.3.3.1.	Unité de production LCM Lafarge ciment de M'sila :	22
II.3.3.2.	Unité de production LCO Lafarge ciment Oggaz a mascara :	23
II.3.3.3.	Unité de production CILAS ciment Lafarge-Souakri à Biskra	23
II.3.3.4.	Laboratoire de développement de la construction(CDL) :	23
II.3.4.	Plâtre	23
II.3.5.	Situation géographique :	24
II.3.6.	Les Principaux étapes de la fabrication du ciment à LCM :	24
II.3.6.1.	L'extraction de la matière première :	25
II.3.6.2.	La préparation de la matière crue (concassage et pré homogénéisation) :	25
II.3.6.3.	Broyage et stockage de la matière cru :	26
II.3.6.4.	La clinkérisation (production du clinker) :	26
II.3.6.5.	Le broyage du ciment et stockage du produit fini en silos :	27
II.3.6.6.	L'ensachage et expédition en sacs ou vrac	27

II.3.7. Laboratoire du contrôle de la Qualité	28
II.4. Description de la station de traitement des eaux usées de la cimenterie Lafarge de M'sila (LCM)	29
II.4.1. Généralités sur la station:	29
II.4.2. Fonctionnement de la station d'épuration :	30
II.4.3. Sources et natures des effluents de la cimenterie LCM	32
II.4.4. Les étapes de traitement des eaux usées dans la cimenterie LCM	32
II.4.4.1. Bassin d'eaux usées brutes :	32
II.4.4.2. Le réservoir d'aération prolongée :	33
II.4.4.3. Système de désinfection :	34
II.4.4.4. Réservoir de filtration tertiaire (filtre à sable) :	34
II.4.4.5. Traitement des boues :	35
Chapitre III. Résultats et discussion	36
III.1. Les principaux paramètres de suivi de la qualité d'eau dans la station:	36
Chapitre I.	36
Chapitre II.	36
Chapitre III.	36
III.1.1. La température:	36
III.1.2. Le pH (Potentiel d'hydrogène):	38
III.1.3. La demande biologique en oxygène (DBO ₅) :	40
III.1.4. La conductivité :	41
III.1.5. Les matières en suspension (MES)	42
III.2. Traitement finale des boues activées :	43
III.2.1. Composition minéralogique et chimique des boues de la station d'épuration :	43
III.2.1.1. Echantillonnage et préparation de l'échantillon :	43
III.2.1.2. Détermination de la teneur en eau (H ₂ O %) :	44
III.2.1.2.1 Matériel :	44

III.2.1.2.2 Procédure :	44
III.2.1.2.3 Résultat :	44
III.2.1.3. Détermination de la perte au feu (PAF) :	45
III.2.1.3.1 Matériel:	45
III.2.1.3.2 Procédure:	45
III.2.1.3.3 Résultat :	46
III.2.1.4. Analyse par fluorescence X :	46
III.2.1.4.1 Matériel:	46
III.2.1.4.2 Procédure:	46
III.2.1.4.3 Résultat:	47
III.2.2. Etude de faisabilité et d'impact de l'incinération des boues de la station au four de la cimenterie	48
III.2.2.1. Résultat du mélange matières première des carrières avec la boue :	48
III.2.2.2. Impact du mélange matières première-boue sur l'alimentation du four :	49
Conclusion	48
Références bibliographiques	50

ملخص

تحتوي المياه المستعملة في المناطق الحضرية على كمية كبيرة من الملوثات، ولهذا السبب ينبغي معالجتها في محطة معالجة مياه الصرف الصحي قبل إعادة إدخالها في البيئة الطبيعية، من ناحية للحد من الأخطار والعواقب الوخيمة على البيئة من ناحية أخرى، من أجل إعادة استخدام هذه المياه المنقاة في المجالين الزراعي والصناعي. الهدف من هذا العمل هو دراسة جودة مياه الصرف الصحي لمحطة معالجة مياه الصرف الصحي قبل المعالجة وبعدها، وبالتالي رؤية موثوقية العمليات المستخدمة في هذه المحطة والتي تعمل مع عملية الحمأة المنشطة. الغرض من المياه المنقاة وإعادة تدوير المصنع داخل المصنع في ري المساحات الخضراء، من ناحية، ومن ناحية أخرى، مناقشة حمأة النفايات من المصنع الخاضع للدراسة الداخلية عن طريق المعالجة النهائية عن طريق الحرق في الفرن وفقا للمعايير البيئية.

Abstract

Urban wastewater contains a significant amount of pollutants, which is why it should be treated at the wastewater treatment plant before being reintroduced into the natural environment, on the one hand to limit the dangers and serious consequences vis-à-vis the environment on the other hand, in order to reuse this purified water in the agricultural and industrial field.

The objective of this work is to study the quality of the wastewater of the treatment plant before and after the treatment and therefore to see the reliability of the processes used in this plant which works with the activated sludge process. The purpose of the purified water and are recycling internally of the plant in the irrigation of green spaces, on the one hand and on the other hand the management of the waste sludge of the plant subject to internal study by final treatment by incineration in the furnace in compliance with environmental standards.

Résumé

Les eaux usées urbaine contiennent une quantité importante de polluants, c'est pour cela il devrait donc être traité à l'usine de traitement des eaux usées avant d'être réintroduites dans le milieu naturel, d'une part pour limiter les dangers et de grave conséquences vis-à-vis l'environnement d'autre part, a fin de réutiliser ces eaux épurée dans le domaine agricole et industriel.

L'objectif recherché par ce travail est d'étudier la qualité des eaux usées de la station d'épuration avant et après le traitement et par conséquent de voir la fiabilité des procédés utilisés dans cette station qui fonctionne avec le procédé de boues activées. La finalité des eaux épurée et sont recyclage en interne de l'usine dans l'irrigation des espaces vert, d'un part et d'autres part la prise en charge des boues résiduaire de la station sujet d'étude en interne par traitement final par l'incinération dans le four dans le respect des standards e l'environnement.

Liste des abréviations

DCO : demande chimique en oxygène.

DBO : demande biochimique en oxygène.

MES : Les matières en suspension.

MVS : Les matières volatiles en suspension.

MM : les matières minérales.

CE : La conductivité électrique.

pH : Le potentiel Hydrogène.

ISO : l'Organisation Internationale de normalisation.

OMS : l'Organisation Mondiale de la Santé.

T°: La température.

UV : Ultraviolet.

Liste des figures

Figure 1 Décanteur cylindro-conique (Degrémont, 2004).....	13
Figure 2 illustration graphique des procédés aérobie et anaérobie (simate et al., 2001).	14
Figure 3 Principe du procédé de traitement par boues activées (Cindy, 2007).....	16
Figure 4 Vu globale de l’usine Lafarge ciment de M’sila LCM.	21
Figure 5 Situation de l’usine Lafarge ciment de M’sila LCM (Google earth).....	24
Figure 6 La fabrication du ciment a Lafarge ciment de M’sila LCM.	25
Figure 7 Le concasseur à marteau et le transport vers le hall de pré-homogénéisation.	25
Figure 8 Broyeur ATOX de la matière cru (photo LCM).....	26
Figure 9 Four rotatif et tours de préchauffage.....	27
Figure 10 Broyeur ciment LCM (avec une capacité de 160 t/h).	27
Figure 11 la zone d’expédition du ciment LCM.	28
Figure 12 Système du contrôle de qualité LCM.....	29
Figure 13 Station de traitement des eaux usées de la cimenterie LCM.	29
Figure 14 Vue satellite de la cimenterie LCM. (Google Earth).....	30
Figure 15 photo du bassin des eaux usées brutes.	33
Figure 16 photos du système d'aération.	34
Figure 17 photo du filtre à sable.....	35
Figure 18 Photo labo d’analyses analyses journalières d'eau de la cimenterie LCM.....	36
Figure 19 Photo de l’appareil de mesure multifonction pour la mesure de la température Le Testo 435.....	37
Figure 20 la température à l’entrée et la sortie de station d’épuration LCM (premier trimestre 2022).....	38
Figure 21 Photos du pH-mètre pour la mesure du pH des eaux de l’entrée et sortie de la station.	39
Figure 22 Les résultats du pH à l’entrée et la sortie de station d’épuration LCM (premier trimestre 2022).....	40

Figure 23 Les résultats de la DBO5 à l'entrée et la sortie de station d'épuration LCM (premier trimestre 2022)	41
Figure 24 Les résultats de la conductivité à l'entrée et la sortie de station d'épuration LCM (premier trimestre 2022).....	42
Figure 25 Les résultats de la MES à l'entrée et la sortie de station d'épuration LCM (premier trimestre 2022).	43
Figure 26 Photo du four à moufle de la marque CARBOLIT.....	45
Figure 27 Photo d'une balance analytique avec une précision de 0.0001 gmodel PIONEER de la marque OHAUS.	45
Figure 28 Photos d'une perle pour analyse de fluorescence x&de l'analyseur de fluorescence x (S8 TIGER de la marque BRUKER).	47
Figure 29 Secteur graphique qui représente la compositions chimique des boues de la station d'épuration des eaux usées LCM.	48
Figure 30 S.T.P Sections (VIVENDI WATER SYSTEMS EGYPT).....	56
Figure 31 S.T.P Layout (VIVENDI WATER SYSTEMS EGYPT).....	57

Listes des tableaux

Tableau 1 Normes de l'OMS de rejet des eaux usées (Rotbardt, 2011).	9
Tableau 2 Les normes Algérienne de rejet des eaux usées (JORAD, 2006).	10
Tableau 3 Spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation (JORAD, 2012).	11
Tableau 4 Caractéristiques technique de la station d'épuration LCM (par Vivendi Water Systems Egypt (VWSE)Co)	18
Tableau 5 Dimensions des réservoirs et ouvrages de la station d'épuration LCM	19
Tableau 6 Les résultats de la température à l'entrée et la sortie de station d'épuration LCM (premier trimestre 2022).	22
Tableau 7 Les résultats du pH à l'entrée et la sortie de station d'épuration LCM (premier trimestre 2022).	23
Tableau 8 Les résultats de la DBO5 à l'entrée et la sortie de station d'épuration LCM (premier trimestre 2022)	24
Tableau 9 Les résultats de la conductivité à l'entrée et la sortie de station d'épuration LCM (premier trimestre 2022).	24
Tableau 10 Les résultats de la MES à l'entrée et la sortie de station d'épuration LCM (premier trimestre 2022).	25
Tableau 11 Les résultats d'analyse par fluorescence x (S8 TIGER ,BRUKER).	29
Tableau 12 Résultats du scénario du mélange matière première et la boue de la station des eau usées LCM.	31
Tableau 13 Résultats du mélange matière avec la boue de la station des eaux usées LCM dans l'alimentation du four.	32

Introduction

Introduction

L'accès durable aux ressources en eau est une préoccupation majeure qui concerne tous les pays du bassin méditerranéen. Le changement climatique et la croissance urbaine et démographique attendus dans la région, risquent d'aggraver la situation de stress hydrique qui frappe déjà la plupart des pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée. En Algérie l'eau se fait sentir de plus en plus rare et de moins en moins renouvelable. Elle fait actuellement l'objet d'une exploitation concurrentielle entre les besoins de la population, ceux de l'agriculture et de l'industrie (**Mozas et Alexis, 2013**).

Aujourd'hui dans notre pays les ressources sont limitées en raison du climat semi-aride qui caractérise la majeure partie du territoire national. A ceci s'ajoute les sécheresses épisodiques. Cette problématique ne se limite pas à la quantité des ressources en eau, mais porte également sur la qualité de ces ressources qu'il faut aujourd'hui plus que jamais bien gérer ; d'où vient l'importance du rôle des stations d'épuration des eaux usées pour réduire le niveau de contamination en divers éléments, pour la rendre respectueuses des milieux récepteurs ou facilement réutilisable en agriculture ou en industrie.

La cimenterie Lafarge ciment de M'sila sujet de notre travail est un exemple d'entreprises responsables envers l'environnement dès la construction l'aspect environnemental été pris en compte avec un objectif de zéro rejet à l'extérieure avec l'absence d'un réseau d'assainissement collectif. Une station d'épuration des eaux usées été construite et liée à un réseau d'irrigation pour recycler l'eau traitée en interne, et ainsi elle minimise ça empreinte hydrique.

Dans une démarche de développement durable même les boues résiduares de la station sont traitait et éliminées totalement.

PARTIE
BIBLIOGRAPHIQUE
Chapitre I
GENERALITE SUR LES
EAUX USEES

Chapitre I. **GENERALITE SUR LES EAUX USEES**

I.1. Définition :

Les eaux usées correspondent aux eaux ayant été utilisées par l'homme, il s'agit d'un mélange d'eaux usées provenant des ménages, des bureaux, des effluents industriels et des activités agricoles. Elles sont généralement chargées de matières en suspension, l'ammoniac, le nitrate et le phosphate sont d'autres caractéristiques importantes. De nombreux agents pathogènes sont présents dans les eaux usées domestiques (**Smith et Scott, 2005**).

I.2. Origine des eaux usées :

L'eau est susceptible d'être contaminer par :

- Des contaminations biologiques (bactériennes et virales), les plus importants d'entre eux sont d'origine fécale ou urinaire.
- Des contaminations chimiques, d'origine agricole ou industrielle (**Apfelbaum et Romon, 2009**).

I.2.1. Les eaux usées domestique :

Ce sont les eaux utilisées par l'homme pour des besoins domestiques. Elles se composent essentiellement par : des eaux de ménagères (d'évacuation des cuisines, salles de bains) qui contiennent des matières minérales, matières organiques et des produits détergents. Et des eaux de vanes d'évacuation de toilette très chargées en matières organiques hydrocarbonées, en composée azotés, phosphores et en microorganismes (**Dupont, 1981**).

I.2.2. Les eaux de pluie et de ruissellement :

Les eaux de pluie sont les eaux issues des précipitations atmosphériques, se charge d'impuretés au contact de l'air s'accumulent des polluants atmosphériques, des poussières, des suies de combustion et hydrocarbures rejetés par les véhicules. Les eaux de ruissellement qui se forment après une précipitation s'écoulant sur une surface ou un milieu récepteur aquatique. Puis, en ruisselant, les eaux sont contaminées des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes (résidus de pneus, huiles des véhicules, carburants et métaux lourds) provenant essentiellement de la circulation automobile (**Desjardins, 1997**).

I.2.3. Les eaux usées industrielles :

Les eaux usées industrielles regroupent tous effluents industrielles obtenus lors de l'extraction et de la transformation des matières premières en produits, rejetées par l'usine dans le milieu

extérieur, leur composition liée au type d'industrie concernée (agroalimentaire, pétrochimique, traitement de surface métalliques...). De façon générale, la composition se distingue en fonction de la nature de l'effluent : **(Brisou et Denis, 1980)**

- Eaux de fabrication.
- Purges d'eaux de chaudières ou circuits de refroidissement.
- Eaux de lavage des sols et des machines.
- Eaux vannes.

I.2.4. Les eaux usées agricoles :

Elles représentent les eaux qui ont été polluées par des substances utilisées dans le domaine agricole. Ces eaux caractérisées par la présence de fortes concentration d'engrais nitrates et phosphatés et les pesticides, les engrais solubles et les engrais azotés provoquent une augmentation du taux de nitrates des eaux. Les pesticides non biodégradables sont actuellement interdits mais on en retrouve encore des traces, sont retrouvés fréquemment dans les eaux de captage **(Legube, 2015)**.

I.3. Principaux types de pollution des eaux :

La pollution ou la contamination c'est la dégradation de celle-ci en modifiant ses propriétés physiques, chimiques, et biologiques, par des rejets dépôts directs ou indirects de corps étrangers ou de matières indésirables telles que les microorganismes, les produits toxiques et les déchets industriels **(Aroua, 1994)**.

I.3.1. La pollution minérale :

Sont des polluants inorganiques qui sont généralement les plus toxiques. Les métaux lourds en provenance des industries métallurgiques, ainsi que des pratiques agricoles, comme le plomb, le mercure, le zinc, le fer et le cuivre. Il y'a aussi le cas de certains sels à forte concentration. Ces éléments sont non biodégradables **(Liu et al., 1997)**.

I.3.2. Pollution organique :

Ces polluants sont biodégradables, les eaux usées urbaines se composent principalement de protides, de glucides et de lipides ainsi que des détergents. Fournis par les industries agroalimentaires et par les effluents domestique (déjections humaines, graisses, etc...).

Certains rejets contiennent des matières organiques, ces polluants sont biodégradables, ils peuvent être transformés en eau et en gaz carbonique par des micro-organismes (bactéries, algues), mais cette biodégradation consomme de l'oxygène, donc les animaux aquatique (poissons, crustacés,

... etc.). C'est pourquoi la pollution organique est souvent mesurée en termes de «la demande biochimique en oxygène » (DBO), c'est-à-dire la quantité d'oxygène consommée par les micro-organismes pour la biodégradation. On mesure également la demande chimique en oxygène (DCO), c'est-à-dire la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder tout ce qui peut l'être par voie chimique (**Hammadi, 2017**).

I.3.3. Pollution microbiologique :

C'est une pollution d'origine humaine ou animale, principalement les bactéries pathogènes, virus et protozoaires. Elle soulève dans bien des cas de redoutables problèmes d'hygiène publique.

Généralement ces agents proviennent des excréta des porteurs sains ou malades (**Liu, 1997**).

I.4. Caractéristiques des eaux usées :

I.4.1. Paramètres physiques :

I.4.1.1. La température (T°) :

La température est un facteur écologique important des milieux aqueux, influencée par les conditions environnementales liées à la position géographique de la localité, à la géologie des terrains traversés, l'hydrologie et surtout au climat (**Rodier et al., 2005**).

Elle joue un rôle dans la solubilité des sels et des gaz, donc la détermination de la conductivité électrique, du pH et détermine le taux et la vitesse des réactions de dégradation (**Rejsek, 2002**).

I.4.1.2. Les matières en suspension (MES) :

Il s'agit de matières qui ne sont ni solubles ni colloïdales, d'origine organique ou minérale. Les matières volatiles en suspension (MVS) représentent la fraction organique des matières en suspension, elles constituent environ 70-80% de MES pour les eaux usées urbaines, les matières minérales (MM) elles représentent la présence des sels, silices et poussières (**Hammadi, 2017**).

La détermination des matières en suspension (MES) dans les eaux usées se fait par filtration sur membrane, soit par centrifugation (**Rodier et al., 2009**).

I.4.1.3. La turbidité :

C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. Elle est causée par la présence de matières en suspension (MES) fines. La turbidité des eaux polluées est en général très élevée, elle indique la présence plus ou moins importante des (MES) d'origine organique ou minérale. La mesure est effectuée au moyen d'un spectrophotomètre à 720 nm, les résultats sont exprimés en unité d'absorbance (**Rodier et al., 2009**).

I.4.1.4. La conductivité électrique (CE) :

La conductivité est la propriété que possède une eau de favoriser le passage d'un courant électrique. Elle est due à la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique. Cela dépend de la nature et des concentrations de ces ions dissous (**Rejsek, 2002**).

I.4.2. Paramètres chimiques :

I.4.2.1. Le potentiel Hydrogène (pH) :

Ce paramètre donne le degré d'acidité ou d'alcalinité d'une eau, le pH est reflet de la concentration d'une eau en ions H⁺. Il exprime le degré d'acidité ou d'alcalinité des eaux usées, ce paramètre doit être mesuré sur le terrain par un pH mètre ou par colorimètre. (Olivier T., 1995) Son rôle est important pour la croissance des micro-organismes, et cette croissance sera directement affectée lorsque le pH est inférieur à 5 ou supérieur à 8 (**Hamadani, 2002**).

I.4.2.2. Demande chimique en oxygène (DCO) :

Qualité d'oxygène dissous qui aide à stabiliser la matière organique et inorganique d'un échantillon d'eau donné. Le rapport DBO/DCO est connu sous la nom de biodégradabilité, si l'eau a un rapport supérieur à 0.6, elle peut être dégradée biologiquement, et si le rapport est inférieur à 0.3, elle ne pas être traitée biologiquement (**Gothandam, 2020**).

I.4.2.3. Azote :

L'azote peut se présenter sous diverses formes et à des degrés d'oxydation variables, dans le domaine de l'eau, l'azote se présente sous formes minérales ou organique dans les eaux usées :

- Azote ammoniacal ou N-NH⁺₄ .
- Azote nitreux ou N-NO⁻₂ .
- Azote nitrique ou N-NO⁻₃ .
- Organique ou Norg.

L'azote est l'un des éléments qui favorise la prolifération d'algues par conséquent la réduction de sa teneur avant le rejet des eaux est plus que nécessaire (**Bechac et al., 1984**).

I.4.2.4. Le phosphore :

Dans les eaux résiduaires, le phosphore peut se rencontrer sous forme de sels minéraux (orthophosphates, polyphosphates) mais aussi sous forme de composé organique. Ces différents composés sont soit solubilisés, soit fixés sur les matières en suspension.

Le phosphore joue un rôle important dans le développement des algues, il est susceptible de favoriser leur multiplication dans les bassins des stations d'épuration (**Selghi, 2001**).

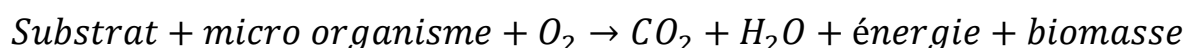
I.4.2.5. Les métaux lourds :

Tout métal pouvant être toxique pour les systèmes biologiques, les métaux lourds associés aux notions de pollution et de toxicité sont généralement : As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sn, Zn. Les métaux lourds se trouvent dans les eaux usées urbaines à l'état de trace mais de concentration plus élevées sont en générale révélatrice d'un rejet industriel sans aucun doute. Ils ont la particularité de s'accumuler dans les organismes vivants ainsi que dans la chaîne trophique (**Belabed, 2010**).

Leur présence est nuisible pour l'activité des microorganismes donc perturbe le processus d'épuration biologique, leur élimination se fait à la phase de décantation, filtration du traitement (**Divet et Shulhof, 1978**).

I.4.2.5. La demande biochimique en oxygène (DBO) :

La DBO5 comme étant la quantité d'oxygène consommée par les bactéries, à 20°C à l'obscurité et pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablementensemencé, temps qui assure l'oxydation biologique d'une fraction de matière organique carbonée. Ce paramètre mesure la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction des matières organiques grâce aux phénomènes d'oxydation par voie aérobie. Pour la mesurer, on prend comme référence la quantité d'oxygène consommée au bout de 5 jours, c'est la DBO5. Elle se résume à la réaction chimique suivant : (**Saïd, 2012**).



I.4.3. Paramètres biologique :

I.4.3.1. La biodégradabilité :

Un processus très courant est l'altération de la matière organique présente dans l'eau sous forme de solution et de suspension, en raison de l'activité des populations microbiennes multi-espèces. Les bactéries contribuent à la transformation de la substance biodégradable en composés plus stables en utilisant l'oxygène présent dans l'eau.

La DBO est un indicateur fiable de la présence de bactéries et de charges organiques transformables rejetées par une source polluante. Il est donc très utile pour l'évaluation du niveau de pollution atteint par le plan d'eau (**Benedini et Tsakiris, 2013**).

La biodégradabilité est exprimée par un coefficient K, tel que, $K = DCO/DBO_5$:

- Si $K < 1.5$: cela signifie que les matières oxydables sont constituées en grande partie de matières fortement biodégradable.
- Si $1.5 < K < 2.5$: cela signifie que les matières oxydables sont moyennement biodégradables.
- Si $2.5 < K < 3$: les matières oxydables sont peu biodégradables.
- Si $K > 3$: les matières oxydables sont non biodégradables.

Un coefficient K très élevé traduit la présence dans l'eau d'éléments inhibiteur de la croissance bactérienne, tels que, les sels métalliques, les détergents, les phénols, les hydrocarbures ... etc (Saïd, 2012).

I.4.3.2. Les bactéries :

Les bactéries sont les microorganismes les plus communément rencontrés dans les eaux usées. L'analyse bactériologique vise à la recherche et le dénombrement des germes suivants : coliformes totaux et fécaux, streptocoques fécaux, Clostridium sulfito-réducteurs et les germes totaux (Ounoki et Achour, 2014).

Le terme coliforme défini par l'Organisation Internationale de normalisation (ISO) : « coliforme » correspond à des organismes en bâtonnets, non sporogènes, Gram négatifs, oxydase négatifs, facultativement anaérobies, capables de croître en présence de sels biliaries ou d'autres agents de surface possédant des activités inhibitrices de croissance similaires, et capables de fermenter le lactose (et le mannitol) avec production d'acide et d'aldéhyde en 48 heures, à des températures de 35 à 37 °C (Rodier, 2009).

La présence des coliformes fécaux avec des concentration élevé montre qu'il a une contamination fécale, humaine ou animale (Bengherbia et al., 2012).

I.4.3.3. Les virus :

Les virus sont des parasites relativement spécifiques d'un hôte, leur concentration estimée dans les eaux usées urbaines comprise entre 10^3 et 10^4 particules par litres. Leur isolement et dénombrement dans les eaux usées restent difficiles. Les virus entériques sont ceux qui se multiplient dans le trajet intestinal, les virus entériques humains les plus nombreux, y compris les entérovirus, les rotavirus, les retrovirus, les adénovirus et le virus de l'hépatite A. Les virus semblent plus résistants dans l'environnement que les bactéries (Aulicino et al., 1996).

I.4.3.4. Les protozoaires :

Les protozoaires sont les parasites les plus couramment associés à la diarrhée. Ce sont des organismes unicellulaires de 2 à 60 µm qui se développent sous forme de trophozoïtes ou de kystes. Comme les virus, les protozoaires ne se réduisent pas dans l'environnement. Cependant, ils sont capables de survivre et de rester actifs pendant des semaines, des mois ou même des années, selon les conditions environnementales. Les protozoaires entériques associés à la maladie d'origine hydrique comprenaient *Entamoeba histolytica*, *Giardia lamblia*, et *Cryptosporidium parvum*. La contamination de l'eau par les kystes et les oocystes provient à la fois des déchets humains et animaux, à l'exception d'*Entamoeba histolytica*, qui n'a pas de réservoir animal et n'est associée qu'aux infections humaines (Campos, 2008).

I.4.3.5. Les helminthes :

Les helminthes sont des parasites intestinaux, souvent présents dans les eaux usées. Dans les eaux usées urbaines, le nombre d'œufs d'helminthes peut être estimé entre 10 et 10³ germes L⁻¹. Beaucoup de ces parasites ont des cycles de vie complexes, y compris un passage obligé par un hôte intermédiaire. L'organisme adulte ou larve est le stade infectieux de certains helminthes, alors que pour d'autres, ce sont les œufs, les œufs et les larves sont résistants et le risque lié à leur présence est à considérer pour le traitement et réutilisation des eaux usées. En effet, la persistance de ces organismes à différentes conditions environnementales ainsi que leur résistance à la désinfection permet leur reproduction, ce qui constitue leur risque potentiel.

Le dénombrement des helminthes dans les eaux usées traitées est d'une importance capitale, en particulier lorsque on souhaite réutiliser ces eaux dans les usages agricoles (BELAID, 2010).

I.5. Les impacts environnementaux des eaux usées :

Le rejet des eaux usées dans le milieu naturel a non seulement un impact sur l'environnement, mais aussi sur la santé des organismes vivants. Les eaux usées contiennent de nombreuses substances toxiques de nature organique ou minérale, qui, selon les quantités en jeu, présentent divers dangers pour le milieu récepteur. L'eau contaminée contamine les eaux de surface et côtières. Les polluants contenus dans ces eaux attaquent le milieu récepteur et contaminent la faune et la flore, réduisant ainsi la biodiversité. Le milieu aquatique affecté par cette pollution entraîne la mort de différentes espèces aquatiques (Benabdeli, 1995).

La contamination des eaux douces a un effet néfaste sur la santé humaine, ces eaux sont parfois directement utilisées pour les besoins quotidiens (eau potable, eaux d'utilisation ménagère) ou

pour l'irrigation, causant ainsi des répercussions directes sur la santé humaine. Le rejet direct des eaux usées dans la mer cause la contamination de différentes espèces aquatiques consommées par l'homme mais aussi les eaux de baignade pouvant également causer de diverses maladies.

Les activités domestiques et industrielles rejettent des polluants qui peuvent dénaturer les écosystèmes. Les stations d'épuration touchent principalement les milieux aquatiques et les sols agricoles via l'épandage des boues. Deux phénomènes peuvent affecter les milieux naturels : en menace et en menace par conséquence les usages (**Renou, 2006**).

I.6. Réglementations et normes :

Les normes de rejet sont des valeurs des paramètres polluants d'une eau usée à ne pas dépasser, on distingue :

I.6.1. Les recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) :

Depuis 1982, l'OMS effectuait des recherches afin de fournir une base scientifique pour établir ses recommandations. Cela a abouti en 1989 au « Recommandations sanitaires pour l'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture. Elles ont été révisées en 2000, en intégrant de nouvelles études épidémiologiques. Pour établir les nouvelles normes, deux approches ont été utilisées, d'une part, des études épidémiologiques empiriques complétées par études microbiologiques concernant la transmission des germes pathogènes, et d'autre part, une évaluation quantitative du risque basée sur un modèle applicable aux germes pathogènes choisis (**Blumenthal et al., 2000**).

Tableau 1 Normes de l'OMS de rejet des eaux usées (**Rotbardt, 2011**).

Caractéristiques	Normes	Unités
pH	6.5-8.5	-
Température	<30	°C
DBO ₅	<30	mg/l
DCO	<90	mg/l
MES	<20	mg/l
NH ⁺ ₄	<0.5	mg/l
NO ₂	1	mg/l
NO ₃	<1	mg/l
P ₂ O ₅	<2	mg/l
Couleur	Incolore	-
Odeur	Inodore	-

I.6.2. Les normes Algériennes de rejet des effluents :

Selon les normes Algériennes les valeurs limites maximales de rejet d'effluents sont regroupées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 2 Les normes Algérienne de rejet des eaux usées (JORAD, 2006).

Paramètres	Valeurs limites	Unités
Température	30	°C
pH	6.5 à 8.5	-
MES	35	mg/l
azote djeldahl	30	mg/l
Phosphore total	10	mg/l
DCO	120	mg/l
DBO ₅	35	mg/l
Aluminium	3	mg/l
substances toxiques bioaccumulables	0.005	mg/l
Cyanures	0.1	mg/l
Fluor et composés	15	mg/l
Indice de phénols	0.3	mg/l
Hydrocarbures totaux	10	mg/l
Huiles et graisses	20	mg/l
Cadmium	0.2	mg/l
Cuivre total	0.5	mg/l
Mercure total	0.01	mg/l
Plomb total	0.5	mg/l
Chrome total	0.5	mg/l
Etain total	2	mg/l
Manganèse	1	mg/l
Nickel total	0.5	mg/l
Zinc total	3	mg/l
Fer	3	mg/l
Composés organiques chlorés	5	mg/l

Tableau 3 Spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation (**JORAD, 2012**).

PARAMETRES		UNITE	CONCENTRATION MAXIMALE ADMISSIBLE
PHYSIQUE	pH	-	$6.5 \leq \text{pH} \leq 8.5$
	MES	mg/l	30
	CE	ds/m	3
	Infiltration le SAR=0-3CE		0.2
	3-6		0.3
	6-12	ds/m	0.5
	12-20		1.3
	20-40		3
CHIMIQUE	DBO ₅	mg/l	30
	DCO	mg/l	90
	CHLORURE (Cl)	meq/l	10
	AZOTE (NO ₃ -N)	mg/l	30
	Bicarbonate (HCO ₃)	mg/l	8.5
Eléments toxiques	Aluminium	mg/l	20.0
	Arsenic	mg/l	2.0
	Béryllium	mg/l	0.5
	Bore	mg/l	2.0
	Cadmium	mg/l	0.05
	Chrome	mg/l	1.0
	Cobalt	mg/l	5.0
	Cuivre	mg/l	5.0
	Cyanures	mg/l	0.5
	Fluor	mg/l	15.0
	Fer	mg/l	20.0
	Phénols	mg/l	0.002
	Plomb	mg/l	10.0
	Lithium	mg/l	2.5
	Manganèse	mg/l	10.0
Mercure	mg/l	0.01	
Molybdène	mg/l	0.05	

	Nickel	mg/l	2.0
	Sélénium	mg/l	0.02
	Vanadium	mg/l	1.0
	Zinc	mg/l	10.0

I.7. Procédés de traitement des eaux usées :

I.7.1. Prétraitement :

Les prétraitements constituent l'ensemble de l'opération physique et mécanique : dégrillage, dessablage et dégraissage-déshuilage. Vise à éliminer des constituants des eaux usées tels que les chiffons, les bâtonnets, les objets flottants, le sable et la graisse, susceptibles de causer des problèmes de maintenance ou d'exploitation pendant les opérations et les processus de traitement (**WWAP, 2017**).

I.7.1.1. Dégrillage :

Le dégrillage permet de retirer de l'eau des déchets insolubles et les objets trop volumineux, qui peuvent nuire à l'efficacité ou compliquer la mise en œuvre des traitements suivants. ces déchets ne peuvent être éliminés par un traitement biologique ou physico-chimique, ils sont donc enlevés mécaniquement. Les grilles peuvent être verticales, mais tendent souvent de 60° à 80° horizontalement (**Perera et Baudot, 1991**).

I.7.1.2. Le dessablage :

Le dessablage permet par décantation d'extraire des eaux brutes les graviers, les sables et les particules minérales plus ou moins fines, protégeant ainsi les structures en aval contre le limon et les pompes contre la corrosion accélérée (**Bouziani, 2000**).

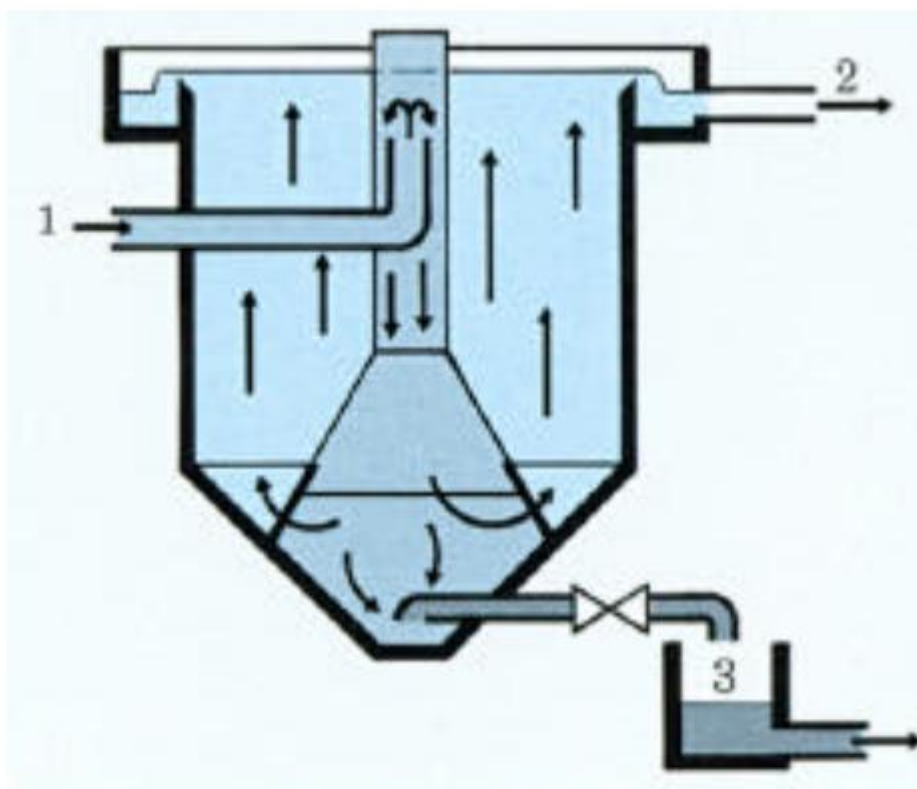
I.7.1.3. Le dégraissage-déshuilage :

Le déshuilage est une opération d'extraction liquide-liquide, alors que le dégraissage est une opération d'extraction solide-liquide. C'est généralement, le principe de flottation qui est utilisé pour l'élimination des huiles par diffusion de fines bulles d'air. Les huiles et les graisses remontent à remontent à la surface où elles sont raclées. Cette méthode s'appelle (déshuilage par écumage des graisses) (**Canler, 2001**).

I.7.2. Traitement primaire:

Le processus principal du traitement primaire est la décantation des matières en suspension (MES) dans un bassin de sédimentation. Son objectif d'éliminer les particules dont la densité est supérieure à celle de l'eau par gravité, l'efficacité du traitement dépend du temps de séjour des eaux dans le bassin et de la vitesse de chute des matières en suspension. Cette phase permet d'éliminer une fraction des MES jusqu'à 60%, et de la matière organique, de l'ordre du tiers de la DBO₅ entrante.

La décantation des matières en suspension apporte également des micropolluants et microorganismes, les eaux usées s'écoulent à travers le trop-plein vers le traitement secondaire, tandis que les boues résultantes sont extraites. Ensuite, selon leur composition, ils sont soit enfouis, soit réutilisés en agriculture (Sophie, 2005).



- 1 - Eau brute.
- 2 - Eau traitée
- 3 - Vidange.

Figure 1 Décanteur cylindro-conique (Degrémont, 2004).

I.7.3. Traitement secondaire :

Les traitement secondaires ou traitements biologiques visent à dégrader la matière organique biodégradable (en solution ou en suspension), des matières solides en suspension et des élément nutritifs (azote, phosphore ou les deux) contenue dans l'eau à traiter. Le traitement biologique utilise la capacité auto-épuratrice de microorganismes, principalement les bactéries, ces microorganismes transforment la matière organique biodégradable contenue dans l'eau usée (**Ghoualem-Saouli, 2007**).

Les procédés biologiques sont plus réalisables que les procédés physico-chimiques en raison d'une bonne efficacité d'élimination de la DCO (élimination d'environ 80 à 90%), d'un coût d'investissement contrôlable et de la maturité du traitement. Cependant, ces techniques présentent certains inconvénients, comme être inadaptées aux variations brutales et importantes de la charge polluante (**Simate et al., 2011**).

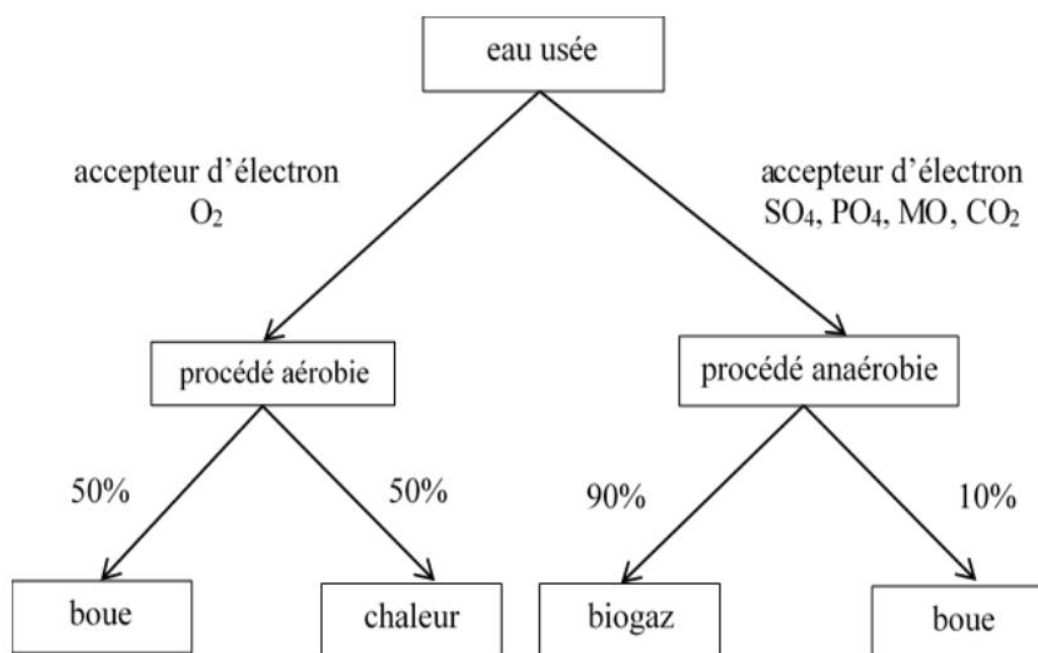


Figure 2 illustration graphique des procédés aérobies et anaérobies (**simate et al., 2001**).

I.7.3.1. Le traitement biologique aérobique :

Si l'oxydation de la matière nécessite de l'oxygène dissous, le traitement est aérobique, donc du dioxyde de carbone (CO_2) et de l'eau (H_2O) se forment. Dans ce cas, la biodégradation est exothermique. Il est plus rapide et plus complet, souvent mis en œuvre dans les procédés de traitement des eaux usées et produit plus de biomasse cellulaire. Le procédé est adapté au

traitement des effluents à faible charge, c'est-à-dire des concentrations en DCO biodégradables inférieures à 1 g/L. (Chan et al., 2009)

I.7.3.2. Traitement biologique anaérobie :

Le traitement est anaérobie s'il y a transfert d'hydrogène et le dernier accepteur d'hydrogène est une entité autre que le dioxygène. Outre le méthane (CH_4), un composant important du procédé anaérobie, du dioxyde de carbone (CO_2) et du dihydrogène (H_2), d'autres produits sont générés en fonction du substrat dégradé. Il y a quatre grandes étapes dans la digestion anaérobie des polluants organiques : (Driessen et Vereijken, 2003)

- L'hydrolyse :

Au départ, les molécules organiques de poids moléculaire élevé (protéines, lipides et glucides) sont hydrolysées par les bactéries hydrolytiques en monomères de faible masse molaire (acides aminés, acides gras, sucres simples). L'hydrolyse est l'unique phase extracellulaire.

- L'acidogènes (fermentation) :

Par les bactéries acidogènes, ces produits hydrolysés sont transformés en acides gras volatiles, en composé neutres, en produits gazeux et en ammonium. Cette étape du processus entraîne l'acidification du milieu réactionnel.

- L'acétogénèse des acides gras :

Les produits de la fermentation sont transformés en dioxyde de carbone (CO_2), en acétate et en dihydrogène (H_2), par des bactéries acétogénèse.

- La méthanogènes

La dernière phase va conduire à une gazéification par la production de biogaz sous forme de (CO_2) et de méthane (CH_4).

I.7.3.3. Traitement biologique par boues activées :

Ce type de traitement implique l'aération du puisard pour assurer des conditions adéquates (O_2) pour la croissance des microorganismes qui peuvent s'agréger et former des floes bactériennes. Les matières organiques contaminants seront captées par ces floes et formeront des bues activées, mélangeant et assurant l'épuration des eaux usées du bassin. En aval de ce traitement, un clarificateur (ou décanteur secondaire) sépare les bues. Afin de maintenir un stock bactérien constant et suffisant dans la cuve à boues activées, une partie des boues extraites du clarificateur

est renvoyée en tête de cuve. Une autre partie est évacuée de la boucle et envoyée vers l'unité de traitement des boues (Roques, 1983).

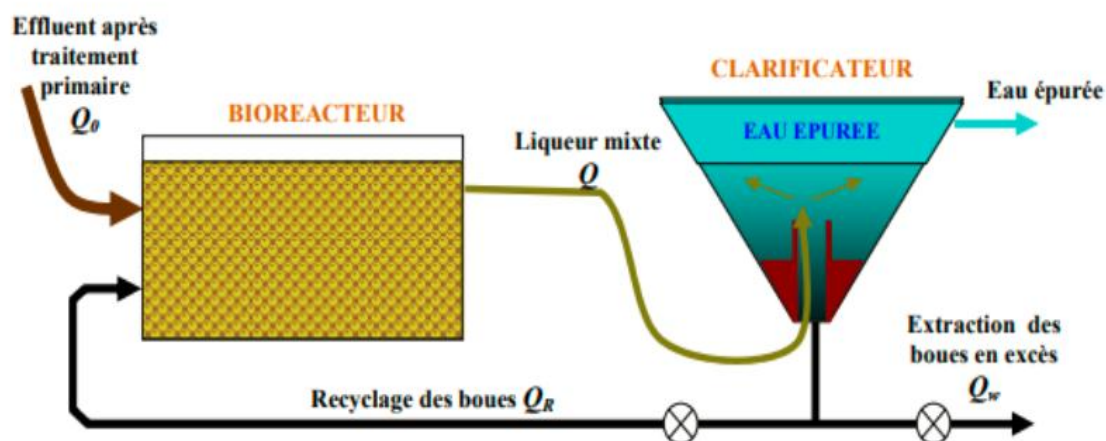


Figure 3 Principe du procédé de traitement par boues activées (Cindy, 2007).

I.7.3.4. Traitement biologique par lit bactérien :

Le principe du traitement en lit ruisselant consiste à faire goutter l'eau à traiter préalablement décantée (traitement primaire) sur un support poreux contenant des microorganismes épurateurs. L'eau à traiter est répartie uniformément sur la surface du filtre, suivie d'une étape d'aération qui apporte à toute la biomasse du lit l'oxygène nécessaire au maintien de bonnes conditions pour la communauté microbienne, le but ultime n'étant pas de développer la biomasse mais de restaurer l'eau pure. L'unité de clarification assure l'étape de séparation liquide-biomasse. Comme les boues activées, une partie de ces boues est utilisée pour réensemencer les bassins biologiques, tandis que le reste est transféré vers la filière boue (Faby et Brissaud, 1997).

I.7.4. Les traitements tertiaires :

Egalement connu sous le nom de traitement complémentaire conçu pour éliminer la contamination biologique des eaux usées domestiques, des traitements primaires et secondaires ont déjà été effectués qui se sont avérés insuffisants pour éliminer ces contaminations. A cet effet, le traitement tertiaire est indispensable et devient nécessaire pour assurer une meilleure protection du milieu naturel récepteur. Le traitement tertiaire généralement considéré comme facultatif ou complémentaire, peut améliorer ou améliorer le traitement secondaire. De telles opérations sont nécessaires pour assurer une protection complémentaire du milieu récepteur ou pour réutiliser les eaux usées dans l'agriculture ou l'industrie. Le traitement tertiaire vise à améliorer la qualité globale de l'eau. Leur utilisation est nécessaire lorsque la nature du milieu récepteur dans lequel l'eau épurée doit être reçue l'exige (Degrémont, 2004).

I.7.4.1. La désinfection :

La désinfection vise à réduire la concentration des germes pathogènes dans les effluents avant rejet dans un milieu aquatique, ou pour diminuer le risque de contamination humaine. Les techniques classiques sont utilisées : chloration, ozonation ou irradiation par rayonnement Ultraviolet (UV). Cette technique nécessite par ailleurs des eaux claires. Si la place le permet, le lagunage peut également être utilisé pour réduire la quantité de microorganismes (**Renou, 2006**).

I.7.4.2. Les traitements de finition :

Pour certains usages, il est recommandé d'atteindre de très faibles concentrations des matières en suspension MES, DBO, DCO, en azote ou en phosphore. Plusieurs procédés peuvent alors être utilisés comme traitement d'affinage. L'intérêt d'appliquer un traitement tertiaire est de pouvoir ajuster la taille de l'ouvrage en fonction des paramètres de contamination à traiter. C'est le cas de la filtration sur sable pour réduire les matières en suspension. Des traitements secondaires tels que la bio filtration ou les lagunes sont également utilisés. Enfin, pour les petites stations d'épuration, les lits d'infiltration/percolation jouent le rôle de filtre et de traitement biologique avancé (**Ghoualem-Saouli, 2007**).

I.8. Traitement des boues :

Les traitements biologiques ou physico-chimiques utilisés pour l'épuration des eaux usées conduisent à la production des boues, qui sont évacuées au niveau des décanteurs primaire et secondaire (clarificateur), les boues sont un « liquide » contiennent en général 1 à 4% de matières sèches. Les principaux objectifs de traitement des boues : (**Renou 2006**)

- De stabiliser la boue (suppression des odeurs).
- D'en réduire le volume de boues à évacuer.
- Pour éviter toute fermentation incontrôlée qui entraînerait des nuisances olfactives (réduction des germes pathogènes).

Les traitements imposés aux boues s'effectuent classiquement en différentes étapes :

I.8.1. L'épaississement :

C'est la première étape du traitement des boues, afin d'en réduire le volume, en éliminant l'eau. Ceci est réalisé par simple épaississement gravitaire dans une structure cylindrique ou bien mécaniquement, l'épaississement dynamique par flottation, par table d'égouttage ou par centrifugation. La matière organique dans la boue lui confère un caractère fermentescible reflété lors de son stockage en émettant de nombreuses molécules odorantes (H_2S , mercaptan ...). Cette

activité biologique indésirable peut être contrôlée soit en la contrôlant dans un réacteur approprié, soit en augmentant le pH en ajoutant de la chaux (**Cindy, 2007**).

I.8.2. La digestion anaérobie :

La digestion anaérobie des boues est un processus biologique de dégradation des matières organiques en l'absence d'oxygène. La digestion comprend trois étapes d'interactions biologiques:

- ✓ L'hydrolyse des macromolécules en composés simples.
- ✓ La production de composés acides à partir de ces composés simples.
- ✓ La gazéification, principalement sous forme de CO₂ et CH₄ .

La digestion anaérobie présente plusieurs intérêts : la réduction de la masse, stabilisation et hygiénisation partielle des boues et production de biogaz valorisable en chaleur et en électricité (**Sibony et Bigot, 1993**).

I.8.3. La digestion aérobie :

Les boues sont oxydées par traitement biologique selon le même principe que les boues activées, pour une durée de séjour allant de quinze à vingt jours. Les avantages sont les mêmes que ceux de la digestion anaérobie, sauf pour la production de biogaz. Cette technologie consomme beaucoup d'énergie (**Renou, 2006**).

I.8.4. La déshydratation :

Ce processus suit le processus d'épaississement jusqu'à ce que la boue soit retournée sous forme de pâte. Cela se fait généralement par des moyens mécaniques tels que la décanteuse centrifuge, un filtre à bande ou le filtre-pressé à plaque. Ces technologies nécessitent l'ajout de polymère ou chaux et de chlorure de fer (**Sibony et Bigot, 1993**).

I.8.5. Le séchage thermique ou solaire :

Le séchage thermique est rendu nécessaire vu les limitations rencontrées par la déshydratation mécanique. Il consiste à évaporer l'eau contenue dans la boue déshydratée, il conduit à une réduction de volume (siccité de 90%), il répond à quatre objectifs : réduire le volume de boue, augmenter le pouvoir calorifique de la boue avant incinération, améliorer la texture de la boue avant épandage (**Grosclaude, 1999**).

I.9. Les différentes voies de valorisation et d'élimination des boues :

Il existe trois voies principales d'élimination ou valorisation des boues : (**Belkhodja et al., 2004**)

- Elimination des boues : incinération et mise en décharge (n'est plus réalisable à partir de 2002).
- Valorisation énergétique : la méthanisation.
- Valorisation agricole : l'épandage et le compostage.

Chapitre II

PRESENTATION DE LA CIMENTERIE LAFARGE DE M'SILA ET SA STATION D'ÉPURATION DES EAUX USÉES

Chapitre II. **PRESENTATION DE LA CIMENTERIE LAFARGE DE M'SILA ET SA STATION D'ÉPURATION DES EAUX USÉES**

II.1. Présentation de la cimenterie Lafarge de M'sila (LCM) :

La cimenterie Lafarge Ciment de M'sila (LCM) démarré en septembre 2003, actuellement avec une capacité de production de 5 millions de tonnes de ciment gris par an ; Dont elle est une des trois cimenteries du groupe Lafargeholcim Algérie le leader du marché de matériaux de construction.



Figure 4 Vu globale de l'usine Lafarge ciment de M'sila LCM.

II.2. Introduction sur le Groupe Lafargeholcim Algérie :

Lafargeholcim Algérie est l'entreprise leader sur le marché des matériaux de construction. Avec une présence sur toute la chaîne des matériaux de construction : Agrégats, Ciments, Mortiers, Granulats, Bétons, Plâtres, Sacs, Logistique et Distribution. Dont deux cimenteries (M'sila et Oggaz) et la cimenterie Cilas à Biskra en partenariat avec le Groupe Souakri pour une capacité totale de production de 11.5 Mt/an.

L'activité béton prêt à l'emploi opère 19 centrales à biton à travers le pays pour une capacité de 1 million de ton/an.

Lafargeholcim Algérie emploie 4500 collaborateurs et elle est fortement engagée dans le développement économique, social et environnemental en Algérie (**Présentation de Lafarge ciment de M'sila par la communication Lafarge en 15 novembre 2015**).

II.3. Filières du Groupe Lafargeholcim Algérie :

Le groupe Lafargeholcim Algérie c'est groupe de filière polyvalente en termes de domaine d'exploitation telle que granulats, béton, Ciment, laboratoire des matériaux de construction et le plâtre (**Présentation de Lafarge ciment de M'sila par la communication Lafarge en 15 novembre 2015**).

II.3.1. Granulats:

Les granulats sont des morceaux de roches naturelles utilisés pour la réalisation de routes, autoroutes, bâtiments, ponts, chemins de fer, ...

Ils peuvent être utilisés à l'état brut « sable, graviers, enrochements, ... » ou transformés « béton prêt à l'emploi par ajout de ciment et d'eau ».

Après l'air et l'eau, les granulats sont la matière première la plus consommée en Algérie.

Chaque Algérien en « consomme » environ 11 kilos par jour, soit 4 tonnes par an.

300 millions de tonnes sont nécessaires chaque année pour répondre aux besoins de logements, routes, voies ferrées, etc.

II.3.2. Béton:

S'il est impossible d'évoquer tous les bétons de notre gamme, certains produits particulièrement innovants méritent d'être mentionnés car ils illustrent les possibilités offertes par nos spécialités. Lafarge Béton Algérie emploie plus de 700 personnes dans plus de 30 Centres de production de béton répartis sur le territoire algérien. Afin de répondre de manière optimale aux besoins et aux exigences de nos clients en matière de service, nous disposons d'une flotte composée de 20 pompes à béton et plus de 150 camions malaxeurs (**Présentation de Lafarge ciment de M'sila par la communication Lafarge en 15 novembre 2015**).

II.3.3. Ciment :

Lafargeholcim Algérie à trois unités de production de ciment :

II.3.3.1. Unité de production LCM Lafarge ciment de M'sila :

Démarrage de l'usine en septembre 2003 avec une seule ligne et avec 2 lignes de production en 2006 de ciment gris de capacité de 5 Millions de tonnes de ciment par an c'est la deuxième plus grande unité du groupe (**Présentation de Lafarge ciment de M'sila par la communication lafarge en 15 Novembre 2015**).

II.3.3.2. Unité de production LCO Lafarge ciment Oggaz a mascara :

Une cimenterie qui Démarrage de l'usine en 2007 & 2008 avec une lignes de production de ciment (gris & blanc) de capacité de 3,7 Millions de tonnes de ciment par an , le Première cimenterie nationale à incinérer des déchets (économie énergie non renouvelable)(Présentation de Lafarge ciment de M'sila par la communication Lafarge en 15 novembre 2015).

II.3.3.3. Unité de production CILAS ciment Lafarge-Souakri à Biskra

Cimenterie de classe mondiale résultat d'une Partenariat de 51% Groupe Souakri devant 49% Lafargeholcim en 2016 avec une Capacité de production ciment : 2.7 million de ton /an (Présentation de Lafarge ciment de M'sila par la communication Lafarge en 15 novembre 2015).

II.3.3.4. Laboratoire de développement de la construction(CDL) :

Depuis longtemps, Lafarge Algérie place l'innovation au cœur de ses métiers. Facteur-clé de croissance du groupe, l'innovation nous permet aujourd'hui d'adopter une logique de fournisseur de solutions, de produits et services à valeur ajoutée et de systèmes constructifs au service des acteurs la construction.

- En Algérie, Lafarge a implanté en 2013 son premier laboratoire de développement de la construction. Ce pôle de recherche, premier genre en Afrique, se veut être une plate-forme centralisant le développement de toutes les innovations du groupe Lafargeholcim pour l'Algérie. Une équipe pluridisciplinaire d'ingénieurs, d'architectes et de techniciens y sont installés pour mettre au point les futurs produits, systèmes et solutions à base béton pour l'ensemble de la construction.
- Au plus près de l'utilisateur final, et grâce à cette plateforme tester toutes les idées permettant d'améliorer la construction des logements et des infrastructures, et en profiter pour former les maçons et autres experts de la construction à la mise en œuvre de ces nouvelles technologies.

II.3.4. Plâtre

Lafarge plâtre en Algérie est le fruit de la volonté de deux grands groupe COSIDER l'un des plus importants en Algérie et, Lafargeholcim, leader mondial des matériaux de construction, par sa division Plâtre (Présentation de Lafarge ciment de M'sila par la communication Lafarge en 15 novembre 2015).

II.3.5. Situation géographique :

L'usine Lafarge ciment de M'sila est situé à la wilaya de M'Sila, a la commune Hammam Dalâa, à 4 Km au nord-est de la route nationale RN60, à 30 km au le nord-ouest de la ville de M'sila et 220 km au sud-est de la capitale ;Alger.



Figure 5 Situation de l'usine Lafarge ciment de M'sila LCM (Google earth).

II.3.6. Les Principaux étapes de la fabrication du ciment à LCM :

La fabrication du ciment suivre plusieurs étapes de la source (carrière de matière première) au produit finie comme suit :

1. L'extraction de la matière première.
2. La préparation de la matière crue (concassage et pré homogénéisation).
3. Le broyage de la matière crue et stockage.
4. La clinkerisation (cuisson dans les fours à 1450°C).
5. Le broyage du ciment et stockage du produit fini en silos.
6. L'ensachage et expédition en sacs ou en vrac.

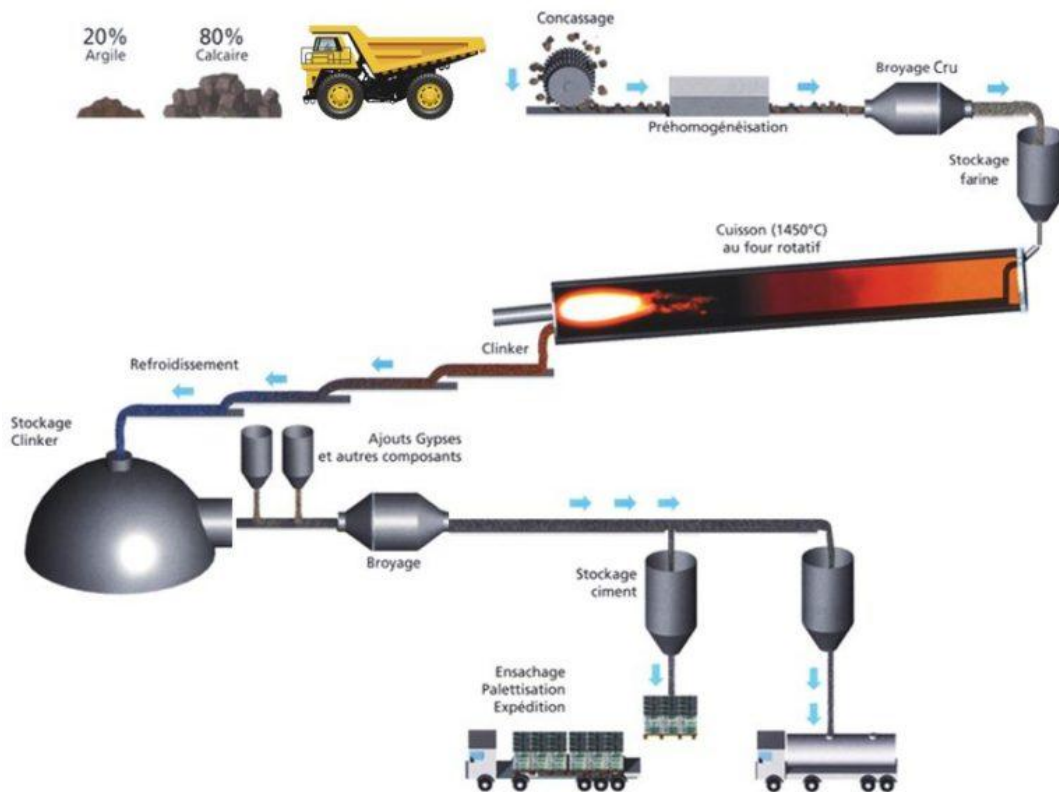


Figure 6 La fabrication du ciment à Lafarge ciment de M'sila LCM.

II.3.6.1. L'extraction de la matière première :

Trois principaux carrières du calcaire : Chauff Ammar au nord de l'usine, Chauff Ammar West et la Carrière de Gottaya, 2km au sud-est de l'usine ; En plus d'autres carrières secondaires celle du BirMaddi pour l'argile ainsi que la carrière du gypse à Chaiba à Biskra.

II.3.6.2. La préparation de la matière crue (concassage et pré homogénéisation) :

Le concassage de la matière première se fait avec un concasseur à marteau avant d'être stocké dans hall de pré-homogénéisation du mélange calcaire – argile avec un dosage bien défini.



Figure 7 Le concasseur à marteau et le transport vers le hall de pré-homogénéisation.

II.3.6.3. Broyage et stockage de la matière cru :

C'est une étape de broyage et de la correction de la matière première avant l'alimentation du four, dont elle exige d'atteindre une finesse demandée pour une farine homogène et dosée par des ajouts : minerai de fer et du sable à des pourcentages bien calculés à l'aide un système de contrôle de qualité de la haute technologie (**Présentation de Lafarge ciment de M'sila par la communication Lafarge en 15 novembre 2015**).



Figure 8 Broyeur ATOX de la matière cru (photo LCM).

II.3.6.4. La clinkérisation (production du clinker) :

Le clinker est un constituant du ciment qui résulte de la cuisson d'un mélange composé d'environ 80 % de calcaire (qui apporte le calcium) et de 20 % d'aluminosilicate (notamment des argiles qui apportent le silicium, l'aluminium et le fer).

Cette cuisson, la clinkerisation, se fait à une température d'environ 1 450 °C qui explique la forte consommation d'énergie des cimenteries ; LCM équipé de deux fours rotatifs de la marque F.L.Smidth, de 4,80m de diamètre et d'une longueur de 74m pour une capacité de 5800 tonnes de clinker par jour chacun.

Les deux fours sont asservis par deux 2 tours de préchauffage de cinq étages par ligne pour la préparation de la matière avant l'alimentation des fours, ce système est alimenté principalement par le gaz naturel.



Figure 9 Four rotatif et tours de préchauffage.

II.3.6.5. Le broyage du ciment et stockage du produit fini en silos :

L'usine Lafarge ciment de M'sila est équipé par 5 broyeurs du ciment : 4 de 160 tonne/h de capacité chaque un et un broyeur de 85tonne/h de ciment pour les opérations de broyage et production du ciment, sous la veille et contrôle de qualité par le laboratoire interne.

Les broyeurs ciment dans l'usine sont partagés en deux ligne (deux broyeurs en ligne1 et Trois à la deuxième ligne) afin d'assurer les besoins en ciment près à l'expédier aux clients.



Figure 10 Broyeur ciment LCM (avec une capacité de 160 t/h).

II.3.6.6. L'ensachage et expédition en sacs ou vrac

L'usine équipée par 8 machines pour l'expédition de ciment par un système semi-automatique dont la politisation 04 machine par ligne pour une capacité de 12000tonne par jours

04 bouches vrac pour la livraison d du ciment vrac de capacité moyenne de 7000 tonne par jour.



Figure 11 la zone d'expédition du ciment LCM.

II.3.7. Laboratoire du contrôle de la Qualité

L'usine LCM équipé d'un laboratoire de haut technologie pour effectuer toute les opérations de contrôle des déférentes points du procédé de la production afin d'assurer une haute qualité des produits dont il est équipé par :

- Un système de prise des échantillons automatique des zones d'usine vers le laboratoire et pour une fréquence bien déterminée.
- Un système de contrôle de qualité liées avec toutes la chaine de production afin d'assurer et de couvrir toutes les étapes de production comme mentionnée dans la figure.15.
- Des analyses minéralogique et chimique par des appareils de haut qualité et technologie FX (fluorescence a Rayon X) et DRX (diffractométrie rayon x)et l'analyse chimique comme mentionnée dans la **figure.13**.
- Un laboratoire physique pour le contrôle de la résistance de ciment et les déférentes analyses du béton.
- Un système de rapports qui assurera la communication la réaction rapide en cas d'une alertes avec un système de suivi des déférents rapports comme les rapports Journalier , Hebdomadaire et celui de l'assurance qualité...etc.
- Un système de suivi et de satisfaction client afin d'assurer une qualité de service et d'accompagnement totale du produit et orientation des clients.

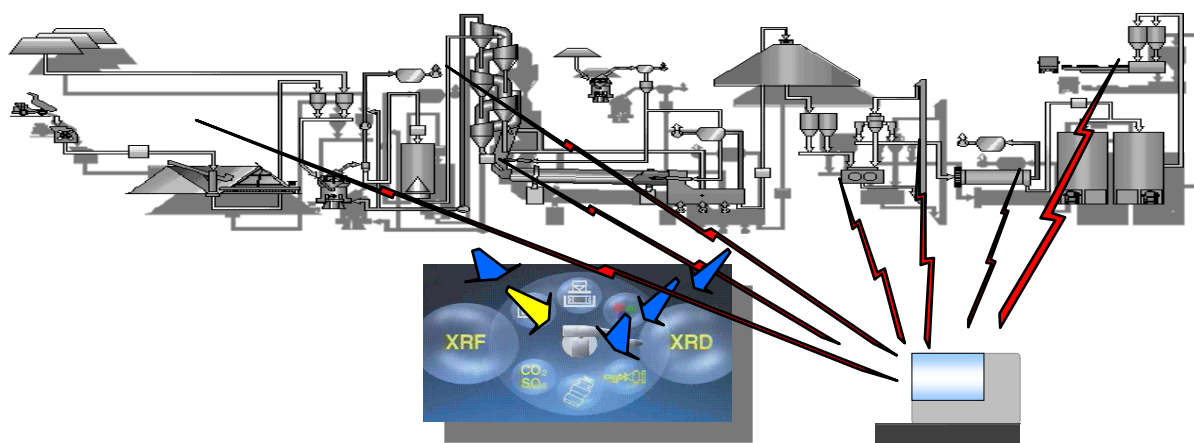


Figure 12 Système du contrôle de qualité LCM.

II.4. Description de la station de traitement des eaux usées de la cimenterie Lafarge de M'sila (LCM)

II.4.1. Généralités sur la station:

La station de traitement des eaux usées de la cimenterie LCM (Figure. 14) a été mise en service depuis la réalisation de la cimenterie en 2003 ; C'est une station de traitement biologique par boues activées qui fonctionne automatiquement à l'aide des détecteurs de niveaux.

Le nettoyage de la station d'épuration se fait chaque année.

Dans la cimenterie de M'sila, l'eau est réutilisée en interne, car elle n'est pas liée au réseau d'assainissement. La station d'épuration a aucun rejet à l'extérieure, l'eau traitée est utilisée comme eau d'irrigation des espaces verts de l'usine et pour l'abattage des poussières des pistes par l'arrosage par camions citernes.



Figure 13 Station de traitement des eaux usées de la cimenterie LCM.

II.4.2. Fonctionnement de la station d'épuration :

L'usine LCM a été construite dans un dénivelé naturel dont la station d'épuration des eaux usées se situe dans le point le plus bas : le point (1) dans la Figure 15 (vue satellite de la cimenterie LCM.; Google Earth) ; Dont elle constitue la destination finale des canalisations du réseau d'assainissement et une partie des eaux de pluie et de ruissellement par gravité,

Par la suite l'eau traitée est pompée au pont le plus élevé de l'usine : le point (2) dans un grand bassin d'une capacité de 315 m³ pour la collecte des eaux d'irrigation des espaces verts grâce à un réseau d'irrigation par gravité.



Figure 14 Vue satellite de la cimenterie LCM. (Google Earth).

La taille de la station d'épuration est basée sur le débit de pointe des eaux usées. Il est toutefois important de noter que sa capacité est limitée soit par la charge organique quotidienne, soit par le débit hydraulique de conception qui est inclus dans les données de conception comme suit :

Tableau 4 Caractéristiques technique de la station d'épuration LCM (par Vivendi Water Systems Egypt (VWSE) Co)

Paramètres	Unités	
Débit journalier moyen (DJM)	m ³ /J	200
Débit horaire moyen	m ³ /h	8.33
Facteur de crête	No.	3
Débit horaire de pointe (3.0 x DJM)	m ³ /h	25
L'influante DBO ₅	PPM	400
L'influante SS	PPM	500
Charge quotidienne DBO ₅	kg/J	80
Number de flux	No.	1
Capacité de rétention dans le bassin d'aération	h	24
Taux de montée du clarificateur au débit de pointe	m ³ /m ² .h	<1.4
Production quotidienne de boues excédentaires	m ³ /J	5.5
Qualité des effluents après traitement secondaire DBO ₅ /SS	PPM	20/30
Qualité des effluents après traitement tertiaire DBO ₅ /SS	PPM	10/10

Les dimensions des réservoirs et des bâtiments nécessaires à la station d'épuration sont listées ci-dessous :

Tableau 5 Dimensions des réservoirs et ouvrages de la station d'épuration LCM

Réservoir / Ouvrage	Qtt	Longueur [m]	Largeur [m]	Profondeur [m]	volume [m3]
Bassin d'eaux usées brutes	1	2	2	3,5	14
Une grille	1	1,5	0,5	1	/
Réservoir d'aération	1	11	6,25	4	275
Réservoir de décantation	2	3	3	4	36
Réservoir de javellisation	1	6,25	1,5	4	37,5
Réservoir de rétention des boues	1	6,25	2	4	50
Réservoir d'irrigation	1	11	6	4	264
Salle des équipements	1	6	4,75	4	114

II.4.3. Sources et natures des effluents de la cimenterie LCM

La station de traitement des eaux usées de la cimenterie LCM traite les eaux usées :

- Des sanitaires de l'usine qui contiennent plusieurs substances polluantes.
- De la cantine qui peut contenir des substances nutritives.
- De pluie et de ruissellement qui contient : les matières en suspension (MES) et les micropolluants organiques.

II.4.4. Les étapes de traitement des eaux usées dans la cimenterie LCM

Le traitement ou l'épuration des eaux usées a pour objectif de réduire la charge polluante existante dans ces eaux. Les eaux usées de la cimenterie sont collectées et évacuée vers la station d'épuration à l'aide d'un réseau d'assainissement.

II.4.4.1. Bassin d'eaux usées brutes :

Le flux d'eaux usées brutes, normalement doit se déverser de l'égout, librement dans le puits d'eaux usées brutes où il passe d'abord à travers une grille qui retient les déchets volumineux (papiers, feuilles, matière plastiques, ...) et qui doivent être ratissés manuellement périodiquement.

Le bassin est situé sous le niveau de l'égout dont il joue le rôle de dessablage ; Cette opération est indispensable pour empêcher le passage des particules les plus fines et pour éviter le colmatage des canalisations.



Figure 15 photo du bassin des eaux usées brutes.

Les pompes submersibles pour eaux usées dans le bassin sont actionnées par des interrupteurs de niveau et acheminent les eaux usées vers le réservoir d'aération étendue, qui est située au-dessus du sol, et qui doit être suffisant pour contenir tout excès d'eaux usées pendant les périodes où le débit de l'égout dépasse le débit maximal de conception de la station d'épuration.

II.4.4.2. Le réservoir d'aération prolongée :

Le flux pompé des eaux usées brutes du bassin des eaux usées brutes arrive au réservoir d'aération prolongée via la grille, qui retient les débris qui pourraient autrement provoquer des blocages du processus d'aération.

Les eaux usées tamisées sont rejetées dans le bassin d'aération où elles sont mélangées avec des boues activées recyclées (un mélange de microorganismes aérobies naturels). Pour que la purification se poursuive, le mélange doit être agité pour empêcher la sédimentation et aéré pour fournir de l'oxygène pour la respiration des micro-organismes.

L'agitation et l'oxygène sont fournis par le système d'aération comprenant des soufflantes d'air (surpresseur) délivrant via un collecteur d'air à des diffuseurs grossiers qui libèrent l'air près du fond du bassin d'aération.



Figure 16 photos du système d'aération.

Les micro-organismes éliminent la matière organique des eaux usées et se multiplient en plus grand nombre. Cette augmentation de la masse des micro-organismes entraîne un excès de boues activées, qui nécessite une élimination occasionnelle, annuelle ou selon l'exploitation.

En général, 0,5 à 1,0 kg de boues seront gaspillés pour chaque 1,0 kg de DBO éliminé par la station.

Lorsque la réaction biologique est terminée, le liquide s'écoule vers le réservoir de décantation où la vitesse est réduite dans le tambour de diffusion et les boues activées séparées de l'effluent secondaire pendant une période de décantation au repos. L'effluent secondaire s'écoule de la station via un déversoir et une partie des boues décantées est pompée vers le bassin d'aération pour traiter davantage d'eaux usées.

II.4.4.3. Système de désinfection :

Le trop-plein de l'effluent secondaire du réservoir d'aération prolongée se déverse dans le réservoir de contact au chlore (javellisation) où il se mélange à une dose contrôlée de solution d'hypochlorite de sodium. La solution d'hypochlorite de sodium est prélevée d'un réservoir de stockage d'hypochlorite par une pompe doseuse à débit de dosage réglable.

II.4.4.4. Réservoir de filtration tertiaire (filtre à sable) :

Les interrupteurs de niveau dans le réservoir de javellisation actionnent les pompes d'alimentation du filtre qui acheminent l'effluent secondaire désinfecté vers les filtres tertiaires à travers un filtre de sable. L'effluent tertiaire des filtres passe au réservoir de stockage des effluents traités pour l'irrigation.

Au fur et à mesure que les solides s'accumulent dans le filtre de sable, la perte de pression à travers le milieu augmente et atteint périodiquement une valeur au-dessus de laquelle la station ne fonctionnera pas comme prévu. À ce moment, le filtre doit être lavé pour éliminer les solides

accumulés. Le sable est lavé à contre-courant par un flux contrôlé d'effluent tertiaire délivré depuis le réservoir de stockage des effluents traités par les pompes d'alimentation du filtre. L'eau de lavage à contre-courant passe à travers le sable, éliminant les solides accumulés et l'eau de lavage à contre-courant usée qui en résulte est renvoyée au bassin des eaux usées brutes pour un retraitement.



Figure 17 photo du filtre à sable.

II.4.4.5. Traitement des boues :

Les boues perdues du réservoir de décantation seront collectées dans un réservoir de rétention des boues dans lequel une digestion supplémentaire des boues a lieu au moyen d'air fourni par les mêmes soufflantes d'air mentionnées précédemment. Les boues seront ensuite éliminées par un camion-citerne (camion hydrocureur).

Pour une déshydratation supplémentaire des boues, un bassin avec un lit de séchage supplémentaire est utilisé, dont il est constitué par une couche de 30 à 40 cm de sable et du gravier comme filtre et système de conduite pour la récupération d'eau interstitielle qui percole rapidement à travers le sable, de la renvoyer dans le bassin des eaux brutes. Les boues restent à la surface du lit de sable sèche au cours du temps. Ces boues sèches sont recyclées avec la matière première dans le four comme un traitement final ou comme composte pour les espaces verts de l'usine.

Chapitre III

RESULTATS ET
DISCUSSION

Chapitre III. Résultats et discussion

III.1. Les principaux paramètres de suivi de la qualité d'eau dans la station:

Comme dans toutes les stations d'épuration des eaux usées, il est nécessaire d'effectuer des analyses pour le contrôle du flux de l'eau brute à l'entrée et à la sortie de l'eau traitée. Les principaux paramètres physico-chimiques analysés ont été effectués au sein du laboratoire de la cimenterie (Figure.19) les autres paramètres sont sujet d'un contrat avec un laboratoire tierce:

III.1.1.La température:

Un des facteurs physiologiques les plus importants qui agissent sur le métabolisme et la croissance des microorganismes dans l'eau est la température, comme elle joue un rôle important dans la solubilité des sels et surtout des gaz dont l'O₂ dans l'eau, ainsi que la détermination du pH et de la vitesse des réactions chimiques (**Ourtelli et Brahim, 2013**).



Figure 18 Photo labo d'analyses analyses journalières d'eau de la cimenterie LCM.

Protocole : La température est mesurée avec une sonde de température (thermocouple) de 75 cm et une appareil de mesure Testo « Testo 435 » directement dans l'entrée de la station, exactement dans le bassin des eaux usées brutes, et à la sortie de la station dans le réservoir d'irrigation durant la visite de la station à une fréquence mensuelle, dans le cas normal.



Figure 19 Photo de l'appareil de mesure multifonction pour la mesure de la température Testo 435.

Une moyenne de lecture de 30 à 60 secs de mesure se fait pour donner une moyenne de température.

Tableau 6 Les résultats de la température à l'entrée et la sortie de station d'épuration LCM (premier trimestre 2022).

Paramètres	Température				Normes Algériennes valeurs limites	Unité
	max	min	Moyenne	Ectype		
Entrée station	23	18	22	1,6	30	C°
Sortie station	24	20	22,4	1,1		

Les différentes valeurs de température sont liées aux conditions climatiques. A l'entrée et à la sortie de la station d'épuration, Les valeurs sont très proches (Tableau 6), avec une légère augmentation de la température de l'eau traitée probablement liée à la température de l'air des surpresseurs ($T^{\circ} > 30^{\circ}$) dans le réservoir d'aérations des eaux usées. Elles restent dans les normes inférieures à 30 °C à la sortie.

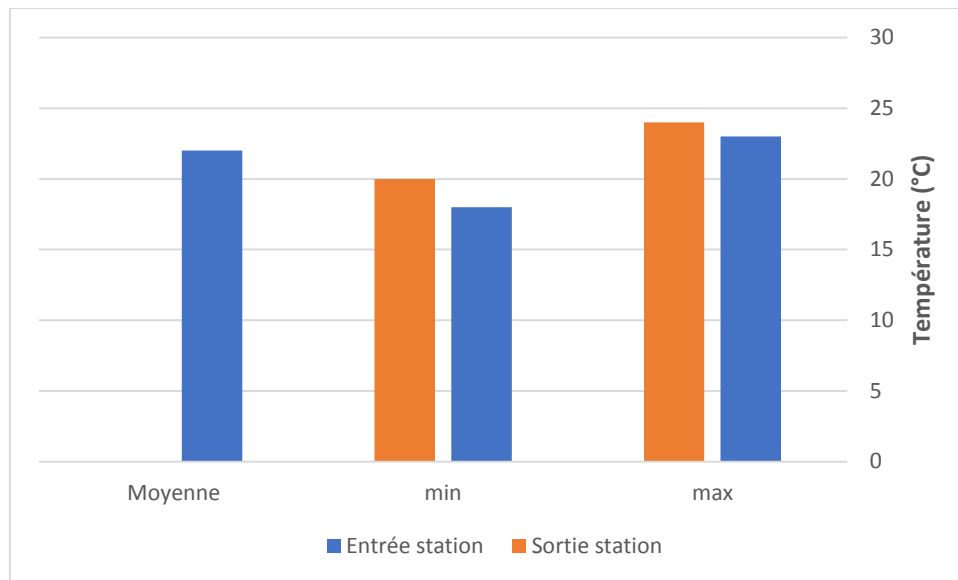


Figure 20 la température à l'entrée et la sortie de station d'épuration LCM (premier trimestre 2022).

III.1.2. Le pH (Potentiel d'hydrogène):

Le pH est une grandeur sans unité exprime l'acidité ou l'alcalinité d'une solution aqueuse. La valeur du pH altère la croissance et la reproduction des micro-organismes existants dans une eau, la plupart des bactéries peuvent croître dans une gamme de pH comprise entre 5 et 9, l'optimum est situé entre 6,5 et 8,5, des valeurs de pH inférieures à 5 ou supérieures à 8,5 affectent la croissance et survie des micro-organismes aquatiques. Le pH de l'eau dépend de l'équilibre carbonique et de l'activité photosynthétique des écosystèmes (N'DIANYE, 2013).

Cette mesure physico-chimique s'effectue à l'aide d'un pH-mètre, permet de savoir si l'échantillon d'eau est acide, basique ou neutre.

Protocole : Des échantillons sont prélevés d'un volume d'un litre dans un contenant de plastique, de l'entrée et de la sortie de la station d'épuration des eaux usées mensuellement pour effectuer des analyses au laboratoire, et avant cela une mesure du pH est réalisée à l'aide d'un pH-mètre portatif de la marque Ohaus STARTER 300 portable.

La mesure du pH est réalisée dans le laboratoire directement dès l'arrivée des échantillons.



Figure 21 Photos du pH-mètre pour la mesure du pH des eaux de l'entrée et sortie de la station.

Ci-dessous les résultats des analyses mensuelles du pH de l'eau du premier trimestre de 2022.

Tableau 7 Les résultats du pH à l'entrée et la sortie de station d'épuration LCM (premier trimestre 2022).

Paramètres	pH				Normes Algériennes valeurs limites	Unité
	max	min	Moyenne	Ectype		
Entrée station	8,9	6,4	7,5	0,9	6,5 - 8,5	/
Sortie station	7,9	6,6	7,0	0,4		

La valeur du pH de l'eau usée brute est d'une moyenne de 7,5 donc légèrement alcalin et celle enregistrée à la sortie de la station est neutre $\pm 0,4$ (Tableau 7). Elles sont dans les normes fixées à un maximum de 8,5 et un minimum 5,5 pour les cimenteries (Déc. 06-141 2006) et 6,5 pour les eaux d'irrigation (Déc. 07-149 2007). La légère différence entre le pH de l'eau traitée et celui de l'eau usée brute est probablement expliquée par la dilution des eaux usées brutes par l'eau potable dans le réseau d'assainissement vue consommation élevée.

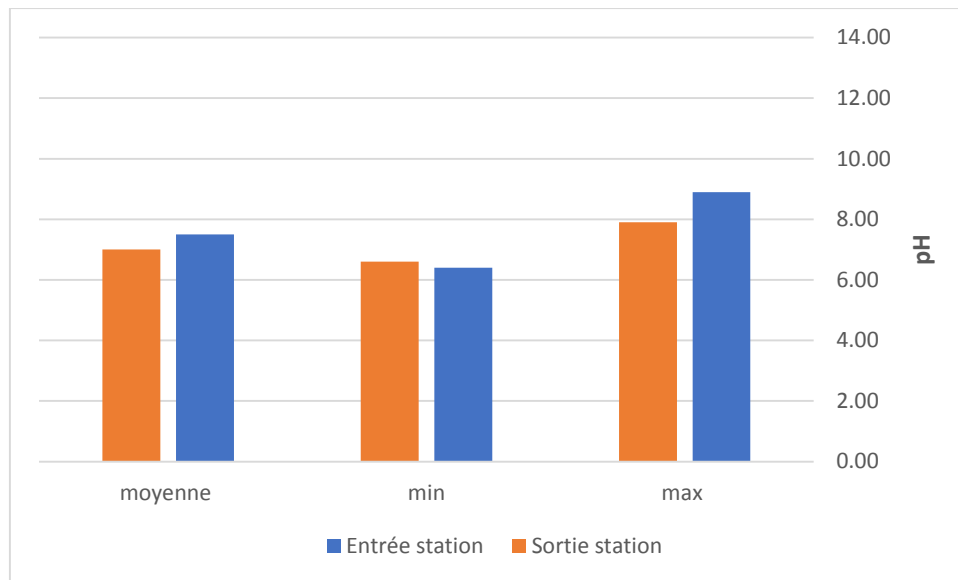


Figure 22 Les résultats du pH à l'entrée et la sortie de station d'épuration LCM (premier trimestre 2022).

III.1.3. La demande biologique en oxygène (DBO₅) :

La demande biologique en oxygène est la quantité d'oxygène en mg/l consommé dans les conditions de l'essai de l'incubation à 20 °C et dans l'obscurité pour assurer par voie biologique l'oxydation des matières organiques biodégradables présents dans l'eau usée. Pour la mesure, on prend comme référence la quantité d'oxygène consommée au bout de 5 jours, c'est la DBO₅ .

En ce qui concerne la méthode physico-chimique, on utilise une sonde à oxygène dissous (oxymètre) pour mesurer la concentration en O₂ d'un échantillon représentatif, avant de répéter l'opération après 5 jours d'incubation. La différence entre les deux valeurs donne la DBO₅ selon la méthode standard 5210 B. Les résultats sont exprimés en mg/l.

Tableau 8 Les résultats de la DBO₅ à l'entrée et la sortie de station d'épuration LCM (premier trimestre 2022)

Paramètres	DBO ₅				Normes Algériennes valeurs limites	Unité
	max	min	Moyenne	Ectype		
Entrée station	263	143	201,4	35,7	35	mg/l
Sortie station	34	12	22,6	7,9		

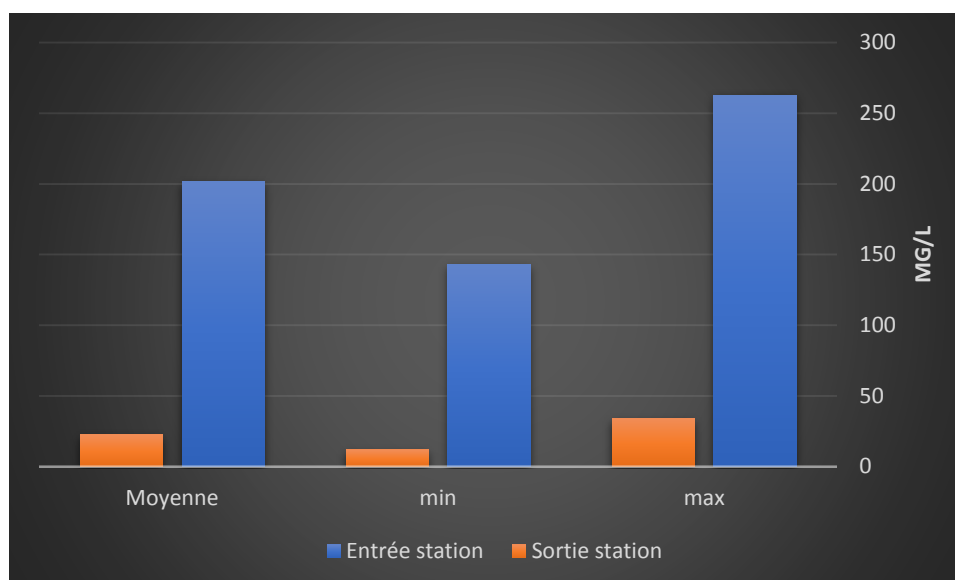


Figure 23 Les résultats de la DBO₅ à l'entrée et la sortie de station d'épuration LCM (premier trimestre 2022)

L'eau usée brute à l'entrée de la station présente une DBO₅ supérieur à 200 mg/l. Par contre, pour l'eau traitée, on remarque que la DBO₅ à la sortie de la station est d'une moyenne de 22 mg/l. La diminution de la valeur de DBO₅ de l'entrée à la sortie, prouve l'efficacité du design et le traitement de la station d'épuration LCM et de sa capacité de 80 kg/jour.

III.1.4. La conductivité :

La conductivité est la propriété que possède une solution à favoriser le passage d'un courant électrique. La mesure de la conductivité donne une idée sur la salinité de l'eau, plus la concentration ionique des sels dissous est grande, plus la conductivité est grande ; L'unité de la conductivité est le milli siemens par centimètre (dS/m) ou ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Selon la méthode ISO 7888.

Avec un appareil combiné conductimètre & pH-mètre le paillasse 3540 de la marque Jenway, qui affiche simultanément le pH et de la conductivité.

Tableau 9 Les résultats de la conductivité à l'entrée et la sortie de station d'épuration LCM (premier trimestre 2022).

Paramètres	Conductivité				Normes Algériennes valeurs limites	Unité
	max	Min	Moyenne	Ectype		
Entrée station	2904	1730	1987,8	366,5	3000	$\mu\text{S}/\text{cm}$
Sortie station	1750	1602	1686,8	51,0		

Les résultats montrent que l'eau brute possède une conductivité avoisine les 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Par contre pour l'eau traitée, la conductivité est de 1680 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Cette légère diminution pourrait être expliquée par la sédimentation des sels minéraux dans le décanteur qui se sont concentrés.

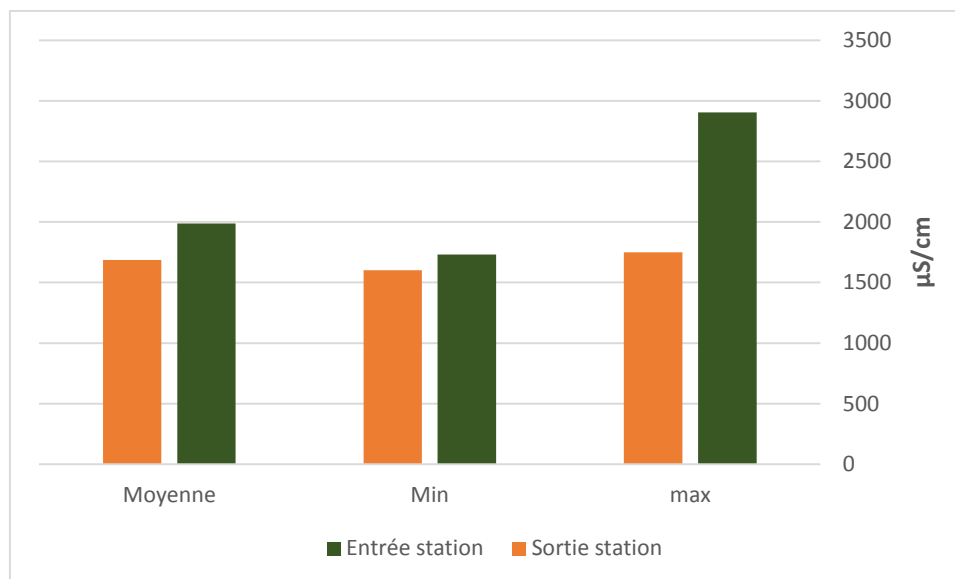


Figure 24 Les résultats de la conductivité à l'entrée et la sortie de station d'épuration LCM (premier trimestre 2022).

III.1.5. Les matières en suspension (MES)

Les matières en suspension (MES) qui ne soit ni solubilisées, ni colloïdales, considérer comme intermédiaire entre les particules minérales du type sable ou poussières de charbon et les particules de type mucilagineuse (**Degrement, 1978**). La teneur en matières en suspension est obtenue par la pesée après filtration et séchage à 105 °C. Elle est exprimée en milligramme par litre (mg/l), selon la norme NF EN 872.

Tableau 10 Les résultats de la MES à l'entrée et la sortie de station d'épuration LCM (premier trimestre 2022).

Paramètres	MES				Normes Algériennes valeurs limites	Unité
	max	min	Moyenne	Ectype		
Entrée station	113	92	103,4	6,7	35	mg/l
Sortie station	23	11	18,0	3,6		

Les résultats obtenus des analyses (tableau 10) montrent que les MES à l'entrée ont comme valeur moyenne 103.4 mg/l et 18 mg/l comme valeur moyenne à la sortie de la station. Cette dernière est nettement inférieure à 35 mg/l (exigence légale de la norme algérienne) ; Ce taux faible à la sortie indique la bonne efficacité du clarificateur de la station d'épuration d'LCM

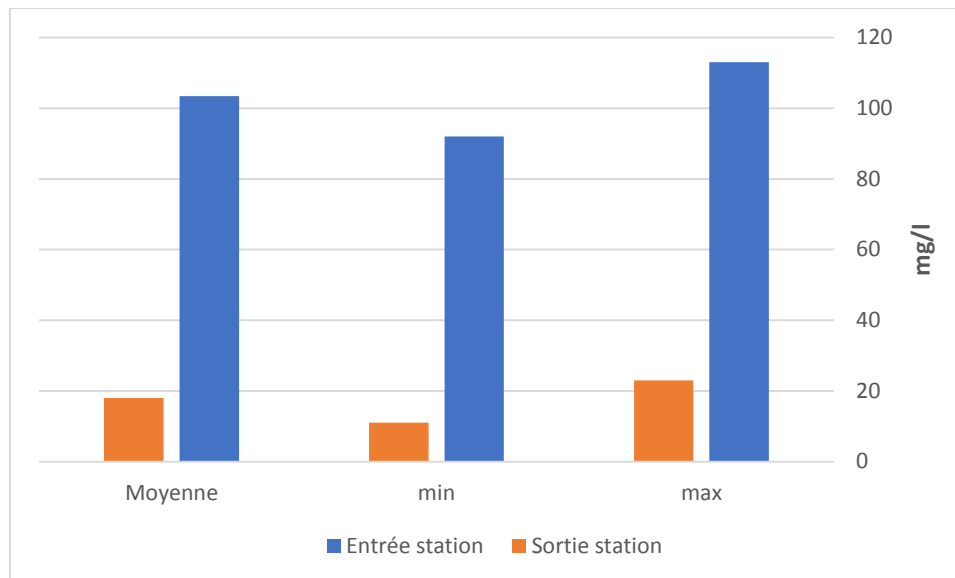


Figure 25 Les résultats de la MES à l'entrée et la sortie de station d'épuration LCM (premier trimestre 2022).

NB : Si les MES sont importantes, elles peuvent entraîner le bouchage des canalisations de la station ou celles du système d'irrigation.

III.2. Traitement finale des boues activées :

Les voies de traitements des boues résiduaire de la station des eaux usées de la cimenterie de M'sila LCM se passent par deux principaux axes, la valorisation en agriculture comme composte et l'élimination finale par l'incinération. Cette dernière est possible vu que la chaîne de production du ciment contient un four rotatif avec une température supérieure à 1450°C qui peut assurer la destruction finale de la boue avec un impact financier et environnemental presque négligeable ou nul.

Une étude a été faite pour l'élimination des boues de la station des eaux usées LCM en interne de l'usine. Dans ce but, des analyses ont été faites sur les boues résiduaire pour définir l'impact de l'injection de la boue dans le circuit de la fabrication du ciment avant de passer au four pour assurer une élimination finale sans avoir des impacts sur la qualité du produit final.

III.2.1. Composition minéralogique et chimique des boues de la station d'épuration :

Afin de déterminer la composition minéralogique et chimique des boues résiduaire de la station on procède comme suit :

III.2.1.1. Échantillonnage et préparation de l'échantillon :

Un échantillon de 200 à 300 g est prélevé du bassin de séchage de la station d'épuration avant d'être transféré au laboratoire de la qualité de LCM.

III.2.1.2. Détermination de la teneur en eau (H₂O %) :

Le test de la teneur en eau permet la détermination de la quantité d'eau existante dans la boue (échantillon) selon la norme NF EN 1097-5.

$$W = \frac{M_w}{M_s} \times 100\%$$

M_w : Masse de l'eau dans la boue (échantillon).

M_s : Masse de l'échantillon sec (la boue séchée).

La teneur en eau est exprimée en pourcentage.

III.2.1.2.1 Matériel :

- Echantillon.
- Récipients.
- Four avec contrôle de températures (étuve).
- Balance.

III.2.1.2.2 Procédure :

- 1- Peser le récipient (M₁). Identifier l'avec une étiquette.
- 2- Placer l'échantillon dans un récipient et peser l'ensemble (échantillon + récipient), (M₂).
- 3- Places l'ensemble (échantillon + récipient) dans l'étuve avec température réglée à (110 ± 5) °C.
- 4- Après 24h retirer le récipient avec la boue sèche. Peser (M₃) en utilisant la même balance.
- 5- Déterminer la teneur en eau W exprimée en pourcentage.

III.2.1.2.3 Résultat :

$$W = \frac{M_2 - M_3}{M_3 - M_1} \times 100$$

M₁ : Masse du récipient.

M₂ : Masse du récipient + Masse de la boue humide.

M₃ : Masse du récipient + Masse de l'échantillon sec.

Les résultats donnent une moyenne de 19,5% d'eau dans la boue du lit de séchage.

III.2.1.3. Détermination de la perte au feu (PAF) :

La mesure de la perte au feu (PAF) donne une indication sur le taux de matière organique et la teneur en carbone organique, en pourcentage selon les spécifications de la norme européenne EN 196-2 ou la norme Algérienne NA-235.

III.2.1.3.1 Matériel:

- 1- Creusets en Platine.
- 2- Balance analytique avec une précision de 0.0001 g.
- 3- Dessiccateur.
- 4- Four à moufle pouvant atteindre une température de $950 \pm 25^{\circ}\text{C}$.
- 5- Pince à manche longue.

III.2.1.3.2 Procédure:

- 1- Peser à une précision de 0.0001 g, $(1,00 \pm 0,05)\text{g}$ de l'échantillon de la boue séchée (m1) dans un creuset en Platine qui a été préalablement calciné et taré,
- 2- Placer le creuset dans le four à moufle réglé à $950 \pm 25^{\circ}\text{C}$.
- 3- Après 15 min de chauffage, retirer le creuset du four.
- 4- Laisser refroidir le creuset à température ambiante dans le dessiccateur.
- 5- Déterminer la masse (m2) du creuset avec l'échantillon.



Figure 27 Photo d'une balance analytique avec une précision de 0.0001 g model PIONEER de la marque OHAUS.

Figure 26 Photo du four à moufle de la marque CARBOLITE

NB : En général, un temps de calcination de 15 mn est suffisant pour le calcul de la PAF, un temps supplémentaire donne la même masse.

III.2.1.3.3 Résultat :

$$PAF(\%) = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1} \times 100$$

Où :

PAF : c'est la perte au feu.

m1 : est la masse de la prise d'essai initiale, en grammes (g).

m2 : est la masse de la prise d'essai calcinée, en grammes (g).

Les résultats ont donné une moyenne de PAF=35,5%.

III.2.1.4. Analyse par fluorescence X :

La fluorescence X est une méthode d'analyse qui exploite la fluorescence des éléments chimiques dans le domaine des rayons X pour obtenir des renseignements qualitatifs et quantitatifs sur la composition chimique de l'échantillon. L'échantillon est fondu dans un verre à l'aide d'un fondant approprié pour obtenir une « perle » qui sera analysée quantitativement par fluorescence X.

III.2.1.4.1 Matériel:

- Balance de précision au 0,0001 g.
- Fondant : di Lithium tetraborate.
- Perleuse.
- Creusets et coupelles en platine.
- Spectrophotomètre à fluorescence X.

III.2.1.4.2 Procédure:

Pour les analyses de l'échantillon des boues, il faut travailler à PAF nulle selon MSI-PRD-085.

Il est recommandé de suivre l'essai après la calcinésation à 950°C : il faut peser très rapidement les échantillons pour éviter une reprise en H₂O ou CO₂ qui fausserait la prise d'essai donc le résultat d'analyse.

- Dans un creuset en platine peser très exactement :
 1. 1.0g de matière calcinée à 950°C (échantillon de la boue)
 2. 7.0 g de fondant (Di Lithium tetraborate).

- Mélanger fondant et matière calcinée dans un creuset de Platine et à l'aide d'une spatule. Il faut que le mélange des deux constituants soit homogène.
- Placer le creuset dans la perleuse et démarrer le programme de la machine
- Après la fin de la fusion de l'échantillon et l'achèvement du refroidissement de l'échantillon dans la coupelle en platine, le résultat est une perle prête (un cylindre) pour analyse de fluorescence X.



Figure 28 Photos d'une perle pour analyse de fluorescence x & de l'analyseur de fluorescence x (S8 TIGER de la marque BRUKER).

III.2.1.4.3 Résultat:

Les résultats sont obtenus après le passage de l'analyse de fluorescence x en pourcentage sous forme d'oxydes sur l'échantillon calciné. Ils sont ensuite exprimés sur l'échantillon tel quel en tenant compte de la perte au feu.

Le modèle de rapport concernant cette analyse est un fichier Excel qui permet de calculer les résultats selon la formule suivante : exemple de Dioxyde de silicium.

$$SiO_2\% = SiO_2 x + \frac{(100 - PAF)}{100}$$

Les résultats de l'analyse des boues résiduelles de la station LCM.

Tableau 11 Les résultats d'analyse par fluorescence x (S8 TIGER, BRUKER).

Constituant	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	TiO ₂	Mn ₂ O ₃	ZnO	SrO	Cl	PAF
%	19,2	6,3	3,02	29,9	1,67	2,14	0,76	0,14	1,04	0,013	0,36	0,036	0,05	0,05	0,11	35,5

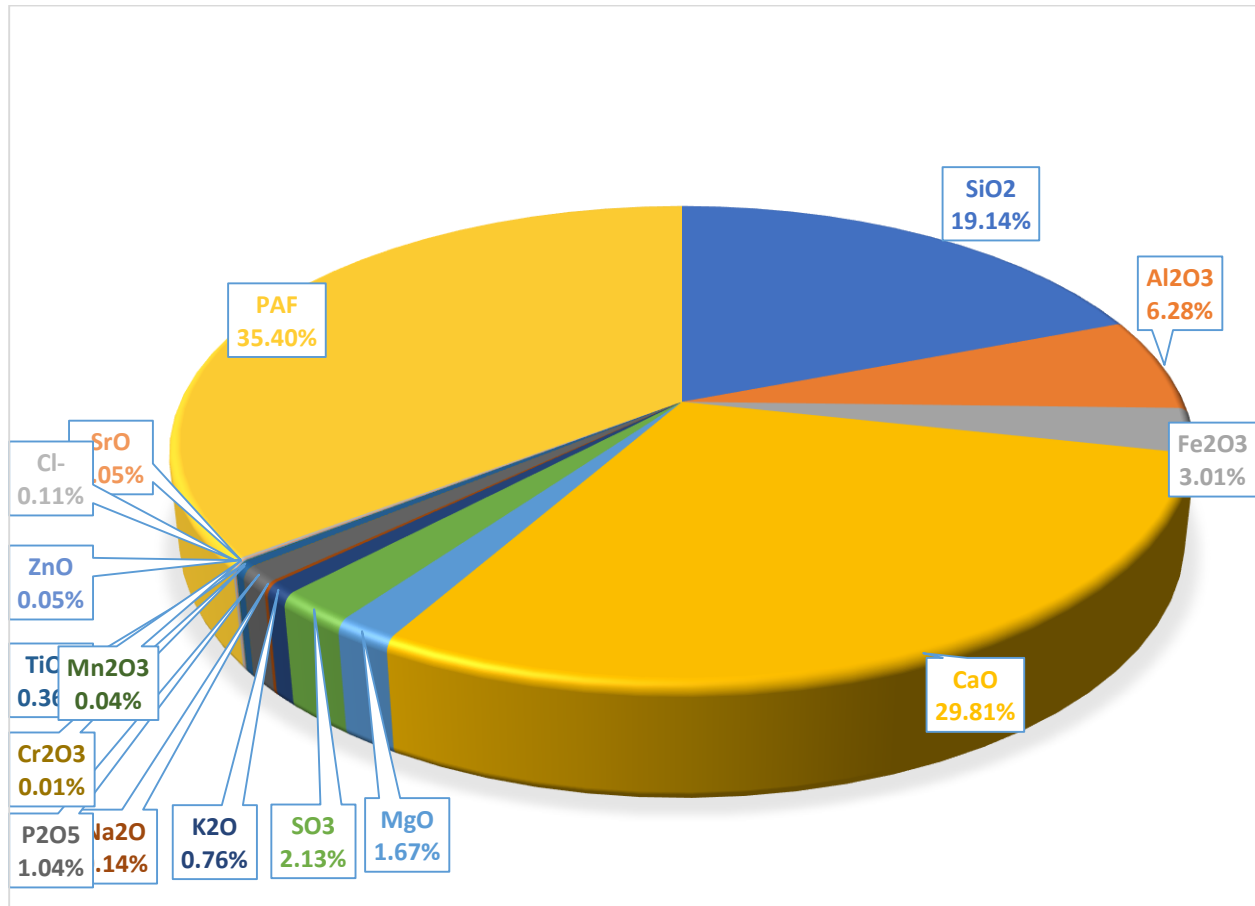


Figure 29 Secteur graphique qui représente la compositions chimique des boues de la station d'épuration des eaux usées LCM.

III.2.2. Etude de faisabilité et d'impact de l'incinération des boues de la station au four de la cimenterie

III.2.2.1. Résultat du mélange matières première des carrières avec la boue :

Vue les quantités importantes des matières premières consommées dans la production du ciment et la quantité des boues disponibles (80tonnes) le pourcentage de ces dernières est relativement faible ; Dans un mélange de la matière première qui contient (calcaire de la carrière principale chauf Ammar à 82,40 % avec les ajouts, l'argile à 5,6 %, marne à 2%, calcaire Goutaia à 9%, Calcaire de décapage à 0,5%) l'ajout de la boue à la carrière ne représente que 0,5%.

La cimenterie Lafarge ciment M'sila utilise deux outils, Optimix et Quarry master pour réaliser les mélanges et avec des corrections tout en assurant la qualité et quantité ciblées. Les résultats d'analyse sont mentionnés dans le tableau 12.

Tableau 12 Résultats du scénario du mélange matière première et la boue de la station des eaux usées LCM.

	Totale mélangé	Calcaire carrière	Ajout	Ajouts	Ajouts	Ajouts	Ajouts
Matières première & composition	Mélange avec la boue	Calcaire chouf-Ammar	Argile	Marne	Calcaires Goutaia	calcaire de décapage	Boue de la station des eaux usées LCM
Tonnage (t)	16000	13182,1	897,9	320	1440	80	80
(%)	100%	82,40%	5,60%	2%	9%	0,50%	0,50%
SiO₂	11,09	8,45	50,33	23,74	7,12	18,07	19,2
Al₂O₃	3,74	3,02	14,31	7,79	2,55	5,96	6,39
Fe₂O₃	1,76	1,49	5,46	3,45	1,49	2,27	3,02
CaO	45,38	47,81	8,83	33,74	49,54	41,87	29,99
MgO	1,16	1,07	3,19	1,26	0,62	0,95	1,67
SO₃	0,86	0,99	0,09	0,43	0,16	0,94	2,14
K₂O	0,17	0	2,22	0,65	0,23	0,07	0,76
Na₂O	0,48	0,56	0,31	0,13	0,01	0,6	0,14
Cl	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,09	0,11

III.2.2.2. Impact du mélange matières première-boue sur l'alimentation du four :

Le mélange préalablement préparé dans la carrière (matières première-boue) doit être corrigé avec des ajouts de correction, minerai de fer, du sable et du calcaire pur pour l'obtention d'un mélange plus raffiné avec des cible plus précises comme dernière étape avant la cuisant dans la tour et le four en finale ; Ces cible sont (**Vade-Mecum LafargeHolcime cement industrial performance (Version February 2018)**) :

- 1- Le LSF ou FSC facteur de saturation en chaux :

$$LSF = \frac{100 CaO}{(2.8 SiO_2 + 1.18Al_2O_3 + 0.65Fe_2O_3)}$$

- 2- Le SM ou Module Silicique :

$$SM = \frac{SiO_2}{(Al_2O_3 + Fe_2O_3)}$$

- 3- Le AM ou Module Alumino-ferrique :

$$AM = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$$

Tableau 13 Résultats du mélange matière avec la boue de la station des eaux usées LCM dans l'alimentation du four.

Constituant	%	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Cl ⁻	PAF	LSF	SM	AM
Mélange	78,97	11,09	3,74	1,76	45,38	1,16	0,86	0,17	0,48	0,020	35,30	123,9	2,0	2,1
Calcaire	15,31	4,86	1,85	1,14	50,29	0,53	0,44	0,14	0,01	0,020	40,46	304,2	1,6	1,6
Sable	4,50	94,77	1,01	0,67	1,14	0,15	0,09	0,30	0,01	0,012	1,21	0,43	56,4	1,5
Fer	1,22	22,17	7,02	53,14	1,91	0,93	0,30	0,56	0,18	0,018	13,00	1,82	0,37	0,13
Alimentation four	100	14,03	3,37	2,25	43,61	1,02	0,75	0,18	0,38	0,020	34,28	97,5	2,5	1,5
Cibles												97,5	2,5	1,5

A la fin une comparaison été faite entre les valeurs des analyses obtenues du mélange boue et matière cru qui a réalisé les valeurs de conformité de la qualité du produit LCM (les modules, LSF, le SM et le AM) comme mentionnées dans le tableau 13.

Les résultats obtenus du mélange qui contient la boue de la station des usées en vert dans le tableau 13, sont égaux aux celles de la qualité demandée en jaune dans le même tableau.

CONCLUSION

Conclusion

Le traitement des eaux usées est un processus très important soit dans les villes ou dans l'industrie du monde entier. On effectue l'épuration des eaux usées non seulement pour protéger la santé de la population, mais aussi pour protéger l'environnement. Afin de montrer l'intérêt de leur épuration, nous avons présenté dans notre mémoire un exemple des stations d'épuration des eaux usées, celle de la cimenterie de Lafarge M'sila avec les différentes méthodes biologiques utilisées pour assurer l'objectif zéro effluent liquide à l'extérieur de l'usine et 100% recyclage en interne.

En s'appuyant sur les procédés physico-chimique et biologique, les stations d'épuration ont pour rôle de concentrer la pollution contenue dans les eaux usées sous forme de deux effluents : l'eau épurée et les boues.

Après avoir effectué les analyses de qualité au laboratoire qui sont :

- Les paramètres physicochimiques (la température, pH, MES, DCO et DBO5...etc.).
- Les analyses chimiques de boues résiduelles de la station d'épuration.

On est arrivé à la conclusion suivante :

Le fonctionnement normal de la station d'épuration des eaux usées de LCM avec un procédé biologique adopté jusqu'à ce jour (à boues activées) est efficace de point de vue qualité ou quantité même avec son désigne compacte, car elle assure à la sortie des rejets conformes aux normes de l'irrigation a utilisation agricole.

Du point de vue des boues, LCM dispose de deux fours de plus de 1450°C et par la combustion dans les fours en assurera l'élimination totale de la boue des eaux usée.

Par ces deux points, LCM assurera un cycle de vie des eaux complet et de traitement finale de la source jusqu'à l'élimination totale, du pompage des fourrages, traitement de l'eau brute, traitement des eaux usée qui ait recyclée à l'irrigation et finalement l'élimination par incinération de la boue générer par la station d'épuration.

Avec l'élimination de la boue des eaux usée LCM donne une vision sur une destination finale et la valorisation des boues dans la cimenterie en cas d'une exploitation insuffisante de ces boues aux autres domaines.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

Apfelbaum M., Romon M., (2009), Diététique et nutrition (7e édition), Elsevier / Masson.

Aroua A., (1994), L'homme et son milieu, édition société national, Alger.

Aulicino, F. A., Mastrantonio, A., Orsini, P., Bellucci, C., Muscillo, M., & Larosa, G. (1996). Enteric viruses in a wastewater treatment plant in Rome. *Water, Air, and Soil Pollution*, 91(3), 327-334.

Bechac J-P., Boutin P., Mercier B., Nure P., (1984), traitement des eaux usées, édition eyrolles.

Belabed Bourhane-Eddine, (2010), La pollution par les métaux lourds dans la région d'Annabe « sources de contamination des écosystèmes aquatiques », thèse doctorat, université Badji Mokhtar –Annaba-.

BELAID N., (2010), Evaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes les sols du périmètre irrigué d'El Hajeb-Sfax : salinisation, accumulation et phytoabsorption des éléments métalliques, thèse Doctorat, l'université de Sfax.

Belkhodja M., Cretenot D., Voujon L., (2004), Bilan du fonctionnement de première unité OVH en France pour le traitement de boues d'épuration, l'eau, l'industrie, les nuisances n° 277.

Benabdeli K., (1995), environnement écologie et gestion intégrée des ressources hydriques, 2ème colloque climat-environnement, Oran 24-25 Décembre 1995.

Benedini M., Tsakiris G., (2013), water quality modelling for rivers and streams, Springer Dordrecht.

bengherbia A., Hamidi F., Zahraoui R., Hamaidi M.S., Megateli S., (2012), Impact des rejets des eaux usées sur la qualité physico-chimique et bactériologique de l'oued Beni Aza (Blida, Algeria), Lebanese Science Journal, vol. 15.

Blumenthal, U.J., Peasey, A., Ruiz-Palacios, G. et scott, R., (2000), guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: recommendations for revising WHO guidelines, bulletin of the WHO 78 (9).

Bouziati M., (2000), l'eau de la pénurie aux maladies, Edition Ibn Khaldoun, Oran.

Brisou J.F, Denis F., (1980), techniques de surveillance de l'environnement maritime, Edition Masson, Paris, France.

- Campos C., (2008)**, New perspectives on microbiological water control for wastewater reuse. Desalination 218, 43-42.
- Canler J.P., (2001)**, performances des systèmes de traitement biologique aérobie des graisses, CEMAGREF & Ministère de l'agriculture et de la pêche, document technique FNDAE n° 24.
- Chan, Y.J., Chong, M.F., Law, C.L., Hassel, D.G., (2009)**, A review on anaerobic- aerobic treatment of industrial and municipal wastewater, Chem. Eng. J.
- Cindy B., (2007)**, procédé à boues activées pour le traitement d'effluents papetiers: de la conception d'un pilote a la validation de modèles.
- Degrémont , (2004)**, Mémento technique de l'eau , Tome 1, collection degrémont.
- Desjardins R., (1997)**, Le traitement des eaux, 2^{ème} édition, Ed. de l'école polytechnique de Montréal, Canada.
- Divet L., Shulhof P., (1978)**, Traitement des eaux, Ed. Eyrolles, Paris.
- Driessen W., Vereijken T., (2003)**, Recent developments in biological treatment of brewery effluent; In The Institute and Guild of Brewing Convention, Livingstone, Zambia.
- Dupont A., (1981)**, Hydraulique urbaine, Edition Eyrolles, France.
- EISSA A., (2002)**, étude d'un installation de station de traitement des eaux usées capacité de 200 m³/j pour la cimenterie de al gazaeria cement company, 0747/1199.
- Faby J.A., Brissaud F., (1997)**, l'utilisation des eaux usées épurées en irrigation, office international de l'eau.
- Ghoualem-Saouli H., (2007)**, Evaluation de la charge polluante, traitements biologiques des eaux urbaines des la commune de Zéralda. Conception d'un pilote, Thèse de doctorat USTHB Algérie.
- Gothandam K.M., Ranjan S., Dasgopat N., Lichtfouse E., (2020)**, environmental biotechnology vol.2, Springer cham.
- Grosclaude Gérard, (1999)**, L'eau -Tome 2- Usages et polluants, Institut National de la recherche Agronomique.
- Hammadi B., (2017)**, lagunage aéré en zone aride performances épuratoires, paramètres influents, Cas de la région de Ouargla, thèse pour obtenir le diplôme docteur en sciences spécialité chimie, l'université KASDI Merbah-Ouargla.
- JORAD, (2006)**, journal officiel de la République Algérienne Démocratique, norme de rejet.

JORAD, (2012), journal officiel de la République Algérienne Démocratique, Spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation.

Legube B., (2015), production d'eau potable filières et procédés de traitement, dunod.

Liu, F., Mitchell, C. C., Odom, J. W., Hill, D. T., & Rochester, E. W. (1997). Swine lagoon effluent disposal by overland flow: effects on forage production and uptake of nitrogen and phosphorus. *Agronomy Journal*, 89(6), 900-904.

Mozas M., & Alexis G., (2013), État des lieux du secteur de l'eau en Algérie. *Institut de Prospective Économique du Monde Méditerranéen (IPMED)*.

Olivier T., (1995), métrologie des eaux résiduaires, CEBEDOC.

Ounoki S., Achour S., (2014), Evaluation de la qualité physicochimiques et bactériologiques des eaux usées brutes et épurées de la ville d'OUARGLA. Possibilité de leur valorisation en irrigation, Larhyss Journal n° 20 décembre 2014.

Perera, P., Baudot B., (1991), Procédés extensifs d'épuration des eaux usées adaptés aux petites et moyennes collectivités, irstea.

Rejsek F., (2002), les analyses des eaux, tom II, aspects réglementaire et technique, France.

Renou S., (2006), Analyse de cycle de vie appliquée aux systèmes de traitement des eaux usées, Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine.

Rodier, J., Legube, B., & Merlet, N. (2009). L'Analyse de l'eau, 9e édition. Entièrement Mise À Jour Dunod Paris.

Roques H., (1983), Fondement théorique du traitement biologique des eaux, techniques et documentations, Ed LAVOISIER, Paris.

Rotbardt A., (2011), rapport final : Réutilisation des eaux usées traitées, perspectives opérationnelles et recommandations pour l'action.

Saïd M., (2012), élimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée de eaux usées traitées, par des procédés mixtes, cas de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou, thèse de doctorat.

Selghi R., (2001), différentes filières de traitement des eaux, édition université IZ Rabat, Maroc.

Service de la communication, (2015), présentation de Lafarge ciment de M'sila.

Sibony J., Bigot B., (1993), traitement des eaux usées urbaines, technique de l'ingénieur, C4230 v1.

Simate G.S., Cluett J., Iyuke S., Musapatika E., Ndlovu S., Walubita L., Alvarez A., (2011), The treatment of brewery wastewater for reuse: State of the art, *Desalination*, Volume 273, Issues 2–3.

Smith, P.G., & Scott, J.S., (2005), Dictionary of water and waste management, Elsevier Science & Technology.

Sophie V., (2005), Etude comparative de l'efficacité des traitements d'épuration des eaux usées pour l'élimination des microorganismes pathogènes, Université libre de Bruxelles.

WWAP (Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau), (2017), Rapport mondial des Nations unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2017, les eaux usées-une ressource inexploitée. Paris, UNESCO.

ANNEXES

Annexes I :

Liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées (JORAD, 2012).

Groupes de cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées	Liste des cultures
Arbres fruitiers (*)	Dattiers, vigne, pomme, pêche, poire, abricot, nèfle, cerise, prune, nectarine, grenade, figue, rhubarbe, arachides, noix, olive.
Agrumes	Pamplemousse, citron, orange, mandarine, tangerine, lime, clémentine.
Cultures fourragères (**)	Bersim, maïs, sorgho fourragers, vesce et luzerne.
Culture industrielles	Tomate industrielle, haricot à rames, petit pois à rames, betterave sucrière, coton, tabac, lin.
Cultures céréalières	Blé, orge, triticale et avoine.
Cultures de production de semences	Pomme de terre, haricot et petit pois.
Arbustes fourragers	Acacia et triplex
Plantes florales à sécher ou à usage industriel	Rosier, iris, jasmin, marjolaine et romarin.

(*) l'irrigation avec des eaux usées épurées est permise à condition que l'on cesse l'irrigation au moins deux semaines avant la récolte. Les fruits tombés au sol ne sont pas ramassés et sont détruits.

(**) Le pâturage direct dans les parcelles irriguées par les eaux épurées est strictement interdit et, ce afin de prévenir toute contamination du cheptel et par conséquent des consommateurs.

Annexes II :

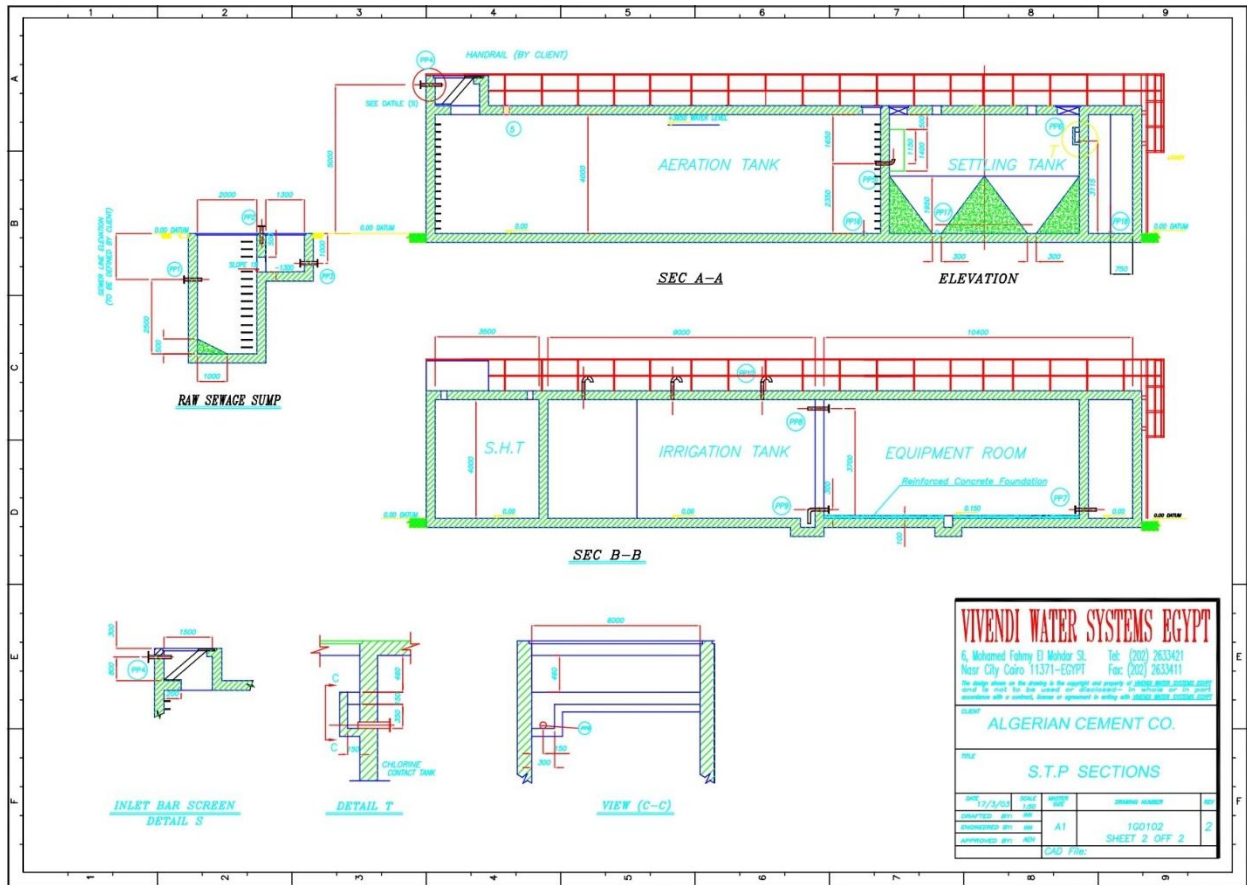


Figure 30 S.T.P Sections (VIVENDI WATER SYSTEMS EGYPT)

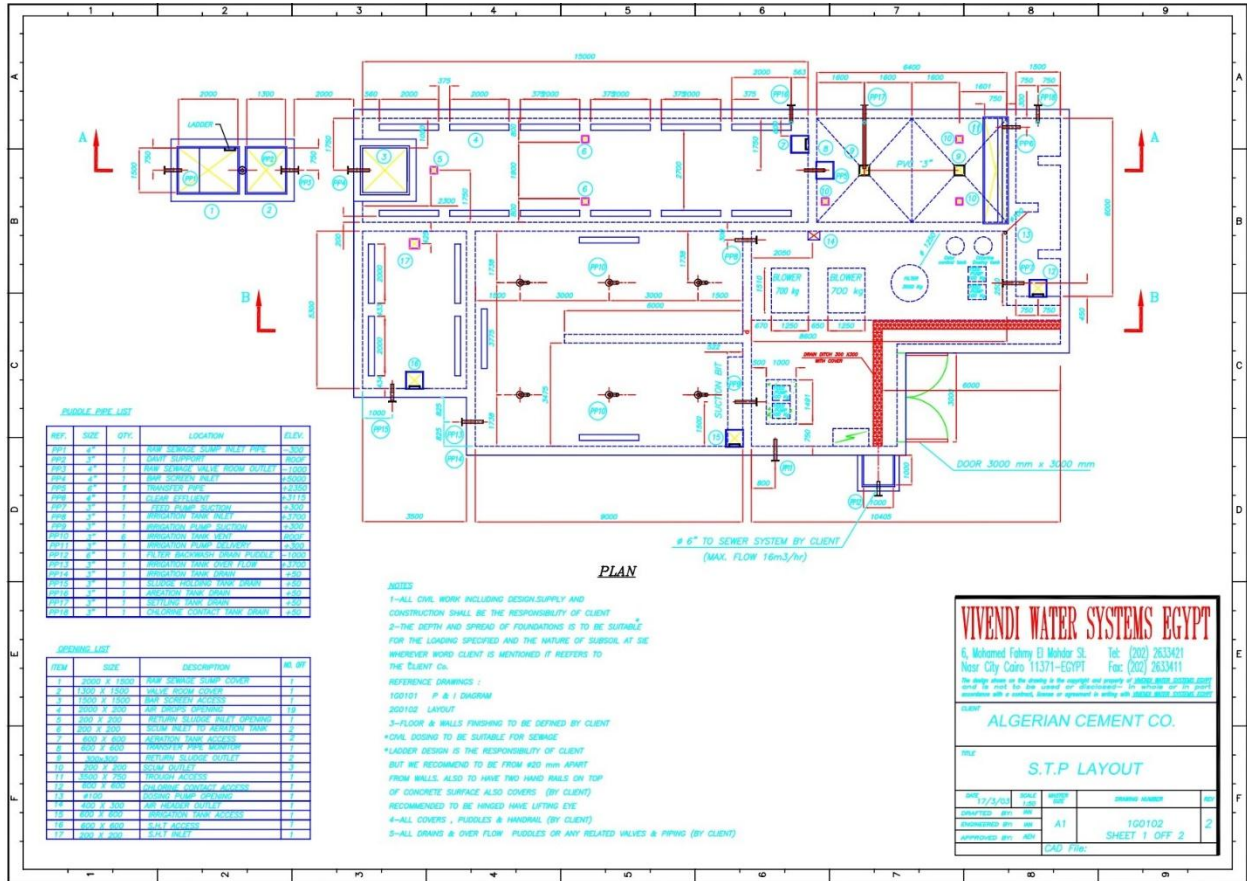


Figure 31 S.T.P Layout (VIVENDI WATER SYSTEMS EGYPT)

Annexes III :

Tableau 14 le suivi mensuel des paramètres de contrôle de la qualité d'eau à l'entrée et à la sortie de la station des eaux usées.

suivi mensuel des paramètres de contrôle de la qualité entrée sewage 2022

Paramètres	Déterminations à l'entrée de la station												max	min	Moyenne	Ectype	Références	Normes Algériennes valeurs limites	Unité
	Janvier	février	Mars	Avril	Mai	Jun	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre							
Température	18	22	23										23	18	21,0	2,0	/	30	C°
pH	6,4	8,1	8,9										8,9	6,4	7,8	0,9	NA-751	5,5 - 8,5	
DBO5	198	143	283										283	143	201	41	5210 B	35	mg/l
Conductivité	1610	1730	2904										2904	1610	2081	548	ISO-7888	3000	µS/cm
MES	113	106	92										113	92	104	8	EN 872	35	mg/l

Suivi mensuel des paramètres de contrôle de la qualité a la sortie sewage 2022

Paramètres	Déterminations à la sortie station												max	min	Moyenne	Ectype	Références	Normes Algériennes valeurs limites	Unité
	Janvier	février	Mars	Avril	Mai	Jun	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre							
Température	20	23	24										24	20	22,3	1,6	/	30	C°
pH	6,6	6,7	7,9										7,9	6,6	7,1	0,6	NA-751	5,5 - 8,5	
DBO5	21	12	34										34	12	22,3	7,8	5210 B	35	mg/l
Conductivité	1602	1708	1750										1750	1602	1687	56	ISO-7888	3000	µS/cm
MES	20	11	23										23	11	18,0	4,7	EN 872	35	mg/l