

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Saad DahlebBlida1



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Biologie et de Physiologie Cellulaire

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme de Master 2

Option: « Ecosystème aquatique »

Thème :

*Contribution à l'évaluation et du traitement des eaux usées dans la
STEP de Benchabane « Boufarik »*

Présenté par :

M^{lle} Turkia chaima

M^{me} Allouche sarah

Soutenus le : 17/09/2020

Devant le jury

Mme Radi . N MAA U.S.D. Blida Présidente

MrBouriach .M MCB U.S.D Blida Examineur

Mme Ouahchia .C MAAU.S.D Blida Promotrice

MmeHamaidi .FProfesseurU.S.D Blida Co- promotrice

Année Universitaire : 2019/2020

REMERCIEMENTS

En premier lieu, on remercie Dieu le tout Puissant qui nous avoir donné la force de mener à terme ce travail. Nous vous prions Allah de nous guider sur le droit chemin qui est le vôtre et qui nous mène à votre Paradis.

C'est pour nous un grand honneur et un réel plaisir de rendre hommage, témoigner de notre profonde reconnaissance et formuler des remerciements aux personnes qui, d'une manière ou d'une autre, ont apporté leur soutien et contribué à finaliser ce travail

*Nos gratitudes s'adressent à **M^{me} HAMAIDI. F** pour son encadrement, son orientation, ses conseils et la disponibilité qu'elle a témoignée pour nous permettre de mener à bien ce travail .Ce fut un grand plaisir de travailler avec elle, durant la réalisation de ce mémoire. Qu'elle reçoit l'expression de nos remerciements les plus sincères.*

*Nos vifs remerciements à l'ensemble des membres du jury : **M^{me} RADIAN**, qui nous fait l'honneur de bien vouloir présider le jury de soutenance.*

***Mr BOURIACH .M**, pour l'intérêt qu'il a accordé à ce travail en acceptant de l'examiner et de le juger. Qu'il trouve ici le témoignage de nos respectueuses gratitudes.*

*Nous tenons à remercier spécialement notre Co-promotrice **M^{me} OUAHCHIA .C** Pour ses Conseils et son aide.*

*Nos remerciements s'adressent aussi **Mr DERIASS. M** Le directeur de la station d'épuration de Benchaabane et son équipe, ainsi que tout le personnel du laboratoire spécialement **M^{me} GHERBI. F***

*Un grand merci à **Mr TEFFAHI. D** personnel au sein de laboratoire d'hygiène de Blida, de nous avoir guidé et accueilli les bras ouverts pendant les stages pratiques et orienté vers la réussite, pour son soutien et encouragement .c'est un homme extraordinaire. Merci de tout notre cœur monsieur.*

Nous adressons également nos sincères remerciements à tous nos maitres de l'enseignement primaire, secondaire et universitaires qui nous ont transmis leurs savoirs et leurs connaissances pendant notre parcours scolaire et universitaire.

Enfin, nous remercions tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin dans l'élaboration de ce travail.

MERCI

Dédicace

*Tout d'abord, louange à « Allah » qui m'a guidé sur le droit chemin tout au long du travail et m'a inspiré les bons pas et les justes réflexes.
Sans sa miséricorde, ce travail n'aura pas abouti.*

À mes aimable et très chères parents « Ma mère. Z » et « Mon père. M » qui m'ont font ce je suis aujourd'hui. Que dieu les garde à moi et les protégés.

À la personne qui m'a tenu la main et qui m'a vraiment soutenu, mon bien bel Homme « Foued »,

À ma aimable sœur « Rafika » et mes chères beaux frères « Minou et Lyes »,

À ma belle famille,

À ma belle binôme Chaima,

À mes meilleurs chères amies Fériel, Karima et Aicha,

À mes trois bébés d'amour : Anes, Sérine et mon sucre x qui est sur la route.

Ainsi qu'à toute ma famille et personne qui sont toujours là pour moi.

Sarah



Dédicace

Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chers

A mes très chers parents

Aucune dédicace aussi parfaite et douce soit-elle, ne saurait exprimer toute ma reconnaissance et tout l'amour que je vous porte. Ce travail représente le fruit de votre soutien, vos sacrifices, et vos encouragements.

A LA MEMOIRE DE MA MERE

*L'être le plus proche de mon cœur ma mère **Salima**, mon ange gardien, ma confidente, aucune dédicace ne saurait exprimer mon amour éternel, ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être. Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me porter depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours. Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés*

J'espère que, du monde qui est sein maintenant, elle apprécie cet humble geste comme preuve de reconnaissance de la part d'une fille qui a toujours prés pour le salut de son âme. Puisse Dieu, le tout puissant, l'avoir en sainte miséricorde !

A MON PERE ABDENNOUR

Pour le lourd sacrifice afin de voir sa famille unie et heureuse, il a donné sa belle vie. Pour tous les moments ou n'as jamais épargné le moindre effort pour nous aider et nous encourager.

Merci papa d'être toujours présent pour faire mon bonheur. Que Dieu vous protège et vous accorde une longue vie pleine de santé et de bonheur

*A Ma Chère Sœur **MERIEM** et Mes Beaux frères adorés **ABDERRAOUF**
et **SELMANE***

Merci d'être toujours à mes cotés, par votre présence ,par votre amour, pour donner du gout et de sens à notre vie de famille .

que ce travail vous témoigne de ma sincère affection.

Designed by pngtree



*Aux anges de ma maison : ma nièce **INESS** et Mon petit-neveu **MOHAMED***

*A mes chères grand- mère, mes oncles et tantes maternelles et paternelles et tout ma famille **TURKIA**, je vous dédie aujourd'hui ma réussite.*

*A Mes cousins et mes cousines en particulier **HADJER, MERIEM, SOUNDOUS, YASMINE, MOHAMED** et **AMIRA**...*

*A ma chère binôme **SARAH** et son mari **FOUAD** et toute sa famille.*

*A mes meilleurs amis **IMANE, AMIRA, SABRINA, ANISSA, ASMA** et **AHEM** pour leurs aides et supports dans les moments difficiles .*

*Et spécialement ma très chère amie, mon âme sœur **NOUR ELHOUDA**, merci pour votre encouragement, conseils, soutien morale mais aussi pour les bons moments qui ont contribué à rendre ces années inoubliables.*

Je dédie ce mémoire que j'espère d'être à la hauteur de leur espérance à moi .

CHAIMA

Résumé

Les données obtenues dans de précédentes études restent toujours des repères pour évaluer la performance du traitement des eaux usées par le procédé biologique des boues activées au niveau de la station d'épuration de **BEN-CHAABANE**.

Nous avons réalisé une étude axée sur les analyses physico-chimiques des eaux usées et épurées. L'analyse bactériologique n'a pu être réalisée qu'une seule fois.

L'échantillonnage a été réalisé pendant une période de trois mois allant du 13 février au 12 avril/ 2020 à raison de deux prélèvements par mois pour les analyses physico-chimiques et un prélèvement a été effectué le 08 mars 2020 pour l'analyse bactériologique.

Les résultats des analyses physico-chimiques ont montré des températures ambiantes, un pH alcalin, une minéralisation élevée et des rendements épuratoires satisfaisants pour les MES, DCO et DBO₅ avec des taux d'abattelements de 90,63 %, 88,47 % et 95,04 % respectivement.

Les effluents récoltés par la station sont facilement biodégradables selon le résultat du rapport $DCO/DBO_5 < 3$. L'abattement de l'azote total et le phosphore total a atteint respectivement 81,28% et 74,72%.

Les résultats du dénombrement obtenus durant la période d'étude ont montré que les concentrations en coliformes totaux, en coliformes fécaux et en streptocoques fécaux étaient plus élevées dans les eaux brutes que dans les eaux épurées.

On peut déduire que l'épuration des eaux usées par la station de BEN-CHAABANE est efficace grâce au traitement appliqué par cette station.

Mots clés : STEP BEN-CHAABANE, Eau usée, Paramètres physico-chimiques, Bactériologiques, Abatement.

ABSTRACT

The data obtained in previous studies still remain benchmarks to assess the performance of wastewater treatment by the biological activated sludge process at the BEN-CHAABANE wastewater treatment plant.

We carried out a study focused on physico-chemical analyses of the waste and treated water. The bacteriological analysis could only be performed once.

Sampling was carried out during a period of three months from 13 February to 12 April 2020 at a rate of two samples per month for physico-chemical analyses and only one sample was taken on 08 March, 2020 for bacteriological analysis.

The results of the physico-chemical analyses showed ambient temperatures, alkaline pH, high mineralisation and satisfactory purification yields for Suspended matters (TSS), COD and BOD₅ with abatement rates of 90.63%, 88.47% and 95.04% respectively.

The effluents collected by the plant are easily biodegradable according to the COD/BOD₅<3 ratio. Total nitrogen and total phosphorus abatement reached 81.28% and 74.72% respectively.

The results of the enumeration obtained during this study showed that the concentrations of total coliforms, faecal coliforms and faecal streptococci were higher in raw water than in treated water.

It can be deduced that the purification of waste water by the BEN-CHAABANE plant is efficient due to the treatment applied by this plant.

Key words: BEN-CHAABANE WWTP, Waste water, Physico-chemical parameters, Bacteriological parameters, Abolition.

ملخص

لا تزال البيانات التي تم الحصول عليها في الدراسات السابقة بمثابة معايير لتقييم أداء معالجة مياه الصرف الصحي من خلال عملية الحمأة المنشطة بيولوجيًا في محطة معالجة المياه "بن شعبان".

تمحورت دراستنا على التحاليل الفيزيائية والكيميائية للمياه العكرة والنقية. أما بالنسبة للتحاليل البكتريولوجية فقد قمنا بتحليل سوى عينة واحدة.

تم أخذ العينات في الفترة الممتدة ما بين 13 فبراير إلى 12 أبريل 2020 بمعدل عينتين شهريًا بالنسبة للتحاليل الفيزيائية والكيميائية. أما أخذ العينة البكتريولوجية فقد كان يوم 08 مارس 2020.

أظهرت نتائج التحاليل الفيزيائية والكيميائية درجات حرارة معتدلة، درجة حموضة قلوية، تمعدن مرتفع ومردود تنقية مرضي بالنسبة للمواد العالقة والطلب الكيميائي والبيولوجي للأكسجين مع معدلات اختزال بلغت 90.63% و 88.47% و 95,04% على التوالي.

مياه الصرف التي تم جمعها بواسطة المحطة قابلة للتحلل الحيوي بسهولة وفقًا لنتيجة نسبة COD / BOD5 أقل من 3. بلغت مردودية إزالة كل من النيتروجين الكلي والفوسفور الكلي على التوالي إلى 81.28% و 74.72%.

أظهرت نتائج البحث وتعداد البكتيريا إلى أن نسبة تركيز كل من القولونيات الكلية، القولونيات البرازية والعقدية البرازية، عالية في المياه العكرة مقارنة مع المياه النقية.

يمكن استنتاج أن تنقية المياه العادمة بواسطة محطة بن شعبان فعالة بفضل المعالجة المطبقة في هذه المحطة.

الكلمات المفتاحية: محطة معالجة المياه بن شعبان، مياه الصرف الصحي، المعلمات الفيزيائية والكيميائية، البكتريولوجية، المكافحة.

Liste des figures

Figure 01 : Nature de la pollution des eaux	04
Figure 02 : Schéma général de différent traitement des eaux usées.....	14
Figure 03 : Processus des boues activées.....	16
Figure 04 : Vue satellitaire de la STEP de BENCHAAABANE.....	20
Figure 05 : Schéma de la filière de traitement de l'eau de la station de BEN-CHAABANE..	22
Figure 06 : Préparation des dilutions.....	32
Figure 07 : Recherche et dénombrement des coliformes en milieu liquide.....	34
Figure 08 : Recherche et dénombrement des coliformes fécaux.....	35
Figure 09 : Recherche et dénombrement de streptocoques fécaux.....	37
Figure 10 : Variation de la température.....	39
Figure 11 : Variation du pH.....	40
Figure 12 : Variation de la Conductivité électrique.....	41
Figure 13 : Variation de concentration d'oxygène dissous.....	42
Figure 14 : Variation des MES.....	43
Figure 15 : Rendement d'abattement des MES.....	44
Figure 16 : Variation des valeurs de la DCO.....	44
Figure 17 : Rendement d'abattement de la DCO.....	45
Figure 18 : Variation de la DBO5.....	46
Figure 19 : Rendement d'élimination de la DBO5.....	47
Figure 20 : Variation des valeurs de NH ₄ de l'eau à l'entrée et à la sortie de la STEP.....	50
Figure 21 : Variation de la concentration des nitrites en fonction des étapes de traitement...52	
Figure 22 : Variation de la concentration des nitrates en fonction des étapes de traitement...53	
Figure 23 : Dégrilleur fin.....	Annexe I
Figure 24 : Dessableur/ déshuileur de la station de BENCHAAABAN.....	Annexe I
Figure 25 : Principe de la décantation primaire.....	Annexe I
Figure 26 : Bassin d'aération (photo originale, 2020).....	Annexe I
Figure 27 : Schéma explicatif du principe de traitement d'azote.....	Annexe I
Figure 28 : Tube à test vario /DCO.....	Annexe II
Figure 29 : Lecteur des résultats des coliformes fécaux <i>Escherichia coli</i>	Annexe II

Listes des tableaux

Tableau I. Principales maladies d'origine hydrique et leurs agents responsables.....	10
Tableau II. Normes physico-chimiques de rejet.....	18
Tableau III. Norme microbiologiques de rejet des eaux épurées.....	19
Tableau IV. Les caractéristiques de l'ouvrage de réception.....	21
Tableau V. Nombres d'échantillonnages et d'analyses.....	24
Tableau VI. Dates et heures de chaque prélèvement.....	24
Tableau VII. Guide de la mesure de la DBO.....	28
Tableau VIII. Variation du rapport DCO/ DBO ₅	47
Tableau IX. Résultats du dosage du phosphate total.....	49
Tableau X. Résultats du dosage de l'azote total (Nt).....	51
Tableau XI. Résultats de dénombrement des principaux paramètres bactériologiques.....	54
Tableau XII. Quelques microorganismes épuratoires.....	Annexe I
Tableau XIII. Résultats des analyses physico-chimiques de la STEP de Benchaabane	Annexe III
Tableau XIV. Table Mac Grady NPP.....	Annexe III
Tableau XV. Rendements épuratoires des principaux paramètres physico-chimiques	Annexe III
Tableau XVI. Normes extrêmes limitées aux eaux d'irrigation.....	Annexe III

Liste des abréviations

AFNOR	: Association française de normalisation
ASR	: Anaérobie sulfito- Réducteurs
BCPL	: Bouillon Lactosé au Pourpre de Bromocrésol
CF	: Coliformes Fécaux.
CT	: Coliformes Totaux.
D/C	: Double Concentration
DBO₅	: Demande Biochimique en Oxygène pendant 5 jours.
DCO	: Demande Chimique en Oxygène.
EB	: Eau Brute
EE	: Eau Epurée
EH	: Equivalant habitant
JORA	: journal officiel de la république Algérienne.
ISO	: organisation internationale de normalisation
MES	: Matières En Suspension.
MMS	: Matière minérale en suspension
MVS	: Matières Volatiles Sèches.
NPP	: Nombre Plus Probable
OD	: Oxygène Dissout.
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé
ONA	: Office Nationale de l'Assainissement
S/C	: Simple concentration
SF	: streptocoques fécaux.
STEP	: Station d'Épuration des eaux polluées
UFC	: Unité Formant Colonie.
VF	: Viande foie

Sommaire

Remerciement	
Dédicace	
Résumé	
Listes des figures	
Listes des tableaux	
Listes des abréviations	
Introduction.....	01

PARTIE SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

I. GENERALITES SUR LES EAUX USEES.....	03
I.1. Définition des eaux usées	03
I.2. Origine des eaux usées.....	03
I.3. Pollution des eaux.....	04
.4.Type de pollution.....	05
II.PARAMETRES DE QUALITE DES EAUX USEES.....	06
II.1. Paramètres physico-chimiques.....	06
II.1.1. Paramètres physiques.....	06
II.1.2. Paramètres chimiques.....	07
II.2. Paramètres biologiques.....	10
III. PROCÉDÉS D'ÉPURATION DES EAUX USÉES.....	14
III.1.Définition de la station d'épuration (STEP).....	14
III.2. Fonctionnement de la station d'épuration.....	14
III.2.1. Prétraitement.....	14
III.2.2. Traitement primaire (physico-chimique).....	15
III.2.3. Traitement secondaire (épuration biologique).....	16
III.2.4. Traitement tertiaire (procédé de désinfection).....	17
IV. POSSIBILITES DE REUTILISATION DES EAUX EPUREES.....	18
IV.1. Domaine de réutilisation des eaux épurées.....	18
IV.2. Normes de rejet.....	18

PARTIE EXPERIMENTALE

I. Matériel et Méthodes.....	20
I.1. Présentation de la zone d'étude.....	20
I.2. Réseau d'assainissement	20
I.3. Étapes de traitement	21
I. 4. Matériels	23
I. 5. Méthodes.....	23
I.5.1. Points d'échantillonnage.....	23
I.5.2 Procédures d'échantillonnage et de conservation des échantillons.....	23
I.6. Analyses physico-chimiques	25
I.6.1. Température, pH, conductivité électrique et oxygène dissous	25
I.6.2. Matière en suspension (MES)	25
I.6.3. Demande chimique en oxygène (DCO)	26
I.6.4. Demande biochimique en oxygène (DBO).....	26
I.6.5. Dosage de l'azote total	28
I.6.6. Dosage de l'ammonium (NH_4^+)	29
I.6.7. Dosage des Nitrates (NO_3^+)	29
I.6.8. Dosage des Nitrites (NO_2^-)	30
I.6.9. Dosage du phosphate total	30
I.7. Analyses Bactériologiques	31
I.7.1. Préparation des dilutions	31
I.7.2. Recherche et dénombrement des bactéries indicatrices de contamination fécale	32
II. Résultats et discussion.....	39
II.1. Résultats et discussion des paramètres physicochimiques.....	39
II.1.1. Température.....	39
II.1.2. pH.....	40
II.1.3. Conductivité électrique.....	41
II.1.4. Oxygène dissous.....	41
II.1.5. Matières en suspension.....	42
II.1.6. Paramètres de la pollution organique.....	44
II.1.6.1. Demande chimique en oxygène (DCO).....	44

II.1.6.2. Demande biologique en oxygène (DBO5).....	45
II.1.7. Paramètres de la pollution phosphorée.....	48
II.1.8. Paramètres de la pollution azotée.....	50
II.2. Paramètres Bactériologiques.....	54
Conclusion.....	55
Références bibliographique	
Annexes	

INTRODUCTION

Introduction

La disponibilité en eau de bonne qualité est indispensable pour prévenir les maladies et améliorer la qualité de vie. Actuellement en Algérie, la situation se caractérise par une demande en eau croissante, alors que les ressources hydriques se raréfient d'une manière permanente. Le rejet des eaux usées dans les oueds constitue un problème qui se traduit par un déséquilibre du milieu écologique d'une part et d'autre part par la perte de ces eaux alors qu'elles pourraient être récupérées (GHADBANE, 2003 ; OLUDURO et ADERIYE, 2007). En effet, la réutilisation et la gestion des eaux usées de façon sécurisée par toute la filière d'assainissement (collecte, transport, traitement, élimination et réutilisation de déchets.) serait aujourd'hui une grande nécessité (OMS, 2017). Cette opération a un double objectif économique à savoir la récupération de la ressource en eau mais aussi la diminution de la pollution de l'environnement. Le recyclage des eaux usées assure ainsi sa durabilité et donc sa destination aux différents usages (irrigation et utilisation domestique) (BENOIT, DAUPHIN et al., 2011).

Sans eau, il n'y aurait pas de vie, c'est un patrimoine qui doit être protégé (OUANOUKI, 2014). Avec l'augmentation du taux de pollution l'eau perd de plus en plus sa qualité par les rejets industriels (métaux lourds), par les produits utilisés en agriculture (pesticides) et par les différentes substances issues des déchets domestiques (chlore).

L'Algérie a réalisé l'importance de l'épuration des eaux usées et ainsi a mis en place des stations d'épuration en aval du réseau d'assainissement qui recouvre un linéaire de 27000 km² (HANNACHI et al., 2014). Une majorité de ces eaux rejoignent ensuite le milieu naturel et peu d'entre elles sont destinées à l'irrigation (ONA, 2014).

Sur 167 STEP existantes, l'ONA assure la gestion de 118 d'entre elles mais seulement les eaux épurées de 18 stations sont réutilisées à raison de 1,8 m³/mois pour irriguer une superficie agricole totale de 11000 hectares (ONA, 2015).

Le suivi des paramètres physico-chimiques et bactériologiques permet de contrôler plus efficacement les procédés de dépollution des eaux usées par boues activées appliquées par la STEP de BEN-CHAEBEN. L'évaluation de la qualité physico-chimique a été réalisée au niveau de la station d'épuration de BEN-CHAEBEN et celle de la qualité microbiologique au niveau de laboratoire d'hygiène de BLIDA.

Cette étude comporte deux parties :

- Dans la partie bibliographique, nous avons d'une part donné une idée générale sur les eaux usées et leurs caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques et d'autre part nous avons expliqué le procédé d'épuration des eaux usées appliqué au niveau de la STEP de BEN-CHAABEN.
- Dans la partie expérimentale nous avons expliqué les différentes méthodes d'analyses physico-chimiques et bactériologiques utilisées pour évaluer l'efficacité du traitement. Les résultats de l'étude rétrospective ont également été interprétés et discutés.

SYNTHÈSE
BIBLIOGRAPHIQUE

I. GENERALITES SUR LES EAUX USEES

I.1. Définition des eaux usées

Les eaux usées sont toutes les eaux des activités domestiques, agricoles et industrielles chargées en substances toxiques qui parviennent dans les canalisations d'assainissement. Les eaux usées englobent également les eaux de pluies et leur charge polluante. Elles engendrent au milieu récepteur toutes sortes de pollution et de nuisance (**DUGNIOLLE, 1980 ; GLANIC et BENNETON, 1989**).

I.2. Origine des eaux usées

Suivant l'origine et la qualité des substances polluantes, on distingue quatre catégories d'eaux usées :

Eaux usées domestiques

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont constituées essentiellement d'excréments humains, des eaux ménagères de vaisselle chargées de détergents, de graisses appelées eaux grises et de toilette chargées de matières organiques azotées, phosphatées et de germes fécaux appelées eaux noires (**METAHRI, 2012**).

Eaux usées agricoles

Ce sont des eaux qui ont été polluées par des substances utilisées dans le domaine agricole. Il s'agit principalement :

- De fertilisants (engrais minéraux du commerce ou déjections animales produites ou non sur l'exploitation);
- De produits phytosanitaires (herbicides, fongicide, insecticides,...) (**GROSCLAUDE, 1999**).

Eaux usées industrielles

Les eaux résiduelles industrielles sont en principe rejetées par une usine dans le milieu extérieur après avoir contribué à la fabrication, au nettoyage, au transport, et au refroidissement. Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. Elles sont un mélange hétérogène composé de matières à caractère minérale ou organique, sous forme de composés insolubles et en proportion plus ou moins grande des composés en dissolution dans l'eau (**BOEGLIN, 2007**). Elles ne sont mélangées aux eaux

domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des stations d'épurations (METAHRI, 2012).

✚ Eaux pluviales

Les eaux de pluie ruissellent dans les rues où sont accumulés polluants atmosphériques, poussières, débris, suies de combustion et hydrocarbures rejetés par les véhicules. Les eaux de pluies collectées normalement à la fois avec les eaux usées puis déversées dans la canalisation d'assainissement et acheminées vers une station d'épuration, sont souvent drainées directement dans les rivières entraînant ainsi une pollution intense du milieu aquatique (METAHRI, 2012).

I.3. Pollution des eaux

La pollution de l'eau est une altération d'origine naturelle ou anthropologique de milieu aquatique qui correspond à l'introduction de toute substance susceptible de modifier les caractéristiques physiques, chimiques et/ou biologiques de l'eau et de créer des risques pour la santé de l'homme, de nuire à la faune et à la flore aquatique (HAMADACHE et SELLAMI, 2007)(Figure 1).

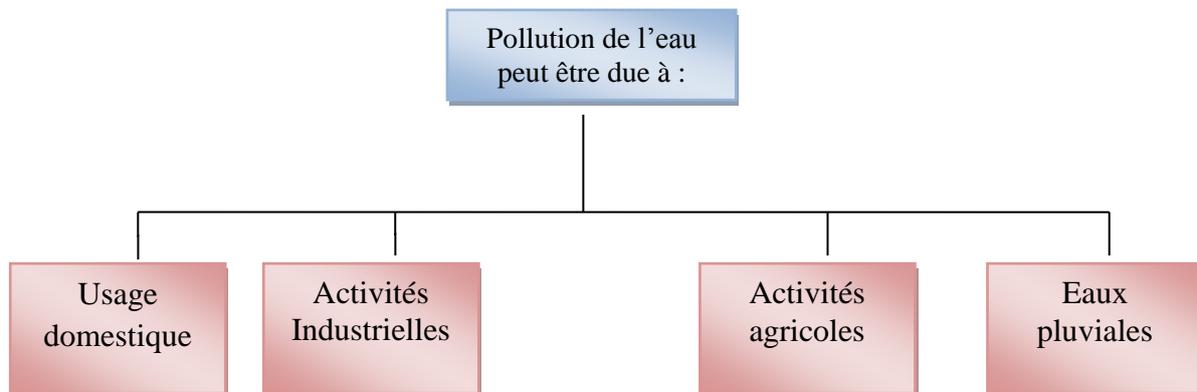


Figure 01. Nature de la pollution des eaux (DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT, 1990)

I.4. Type de pollution

On distingue plusieurs types de pollution des eaux qui se basent sur l'origine et la nature des substances polluantes.

❖ Pollution chimique

Elle est due au déversement des rejets industriels apportant de grandes quantités de substances chimiques dont certaines sont non dégradables. Les polluants chimiques (organiques ou inorganiques) sont les plus nombreux et les plus dangereux. Certaines de ces substances sont même cancérigènes ou mutagènes, d'où l'importance de les éliminer (DJAFER, 2014).

Parmi ces substances on distingue : les métaux lourds, les phénols, les hydrocarbures, les colorants, les détergents et les pesticides. Ces matières, dans leurs majorités provoquent l'appauvrissement en oxygène des milieux aquatiques, avec des effets bien évidents sur la flore et la faune (DJAFER, 2014).

❖ Pollution physique

Cette pollution se manifeste par un changement de la structure physique du milieu pollué par divers facteurs. Elle regroupe la pollution mécanique (effluents solides), la pollution thermique (réchauffement de l'eau par les rejets des usines) et la pollution nucléaire (retombées de radioéléments issus des explosions d'armes nucléaires, résidus des usines atomiques et accidents nucléaires) (MEINCK *et al.*, 1977).

❖ Pollution biologique

Il s'agit de la pollution par les microorganismes (bactéries, virus, parasites, champignons, efflorescences planctoniques, etc.). Ces microorganismes peuvent être pathogènes (MEINCK *et al.*, 1977).

II. PARAMETRES DE QUALITE DES EAUX USEES

II.1. Paramètres physico-chimiques

II.1.1. Paramètres physiques

- **Température (T)**

La température est un facteur écologique important des milieux aqueux. Son élévation peut perturber fortement la vie aquatique (pollution thermique). Elle joue un rôle important dans la nitrification et la dénitrification biologique. La nitrification est optimale pour des températures variant de 28 à 32°C par contre, elle est fortement diminuée pour des températures de 12 à 15°C et elle s'arrête pour des températures inférieures à 5°C (RODIER *et al.*, 2005).

- **potentiel d'Hydrogène (pH)**

Les organismes sont très sensibles aux variations du pH. Un développement correct de la faune et de la flore aquatique n'est possible que si sa valeur est comprise entre 6 et 9. L'influence du pH se fait également ressentir par le rôle qu'il exerce sur les autres éléments comme les ions des métaux dont il peut diminuer ou augmenter leur mobilité en solution biodisponible et donc leur toxicité (METAHRI, 2012).

Le pH joue un rôle important dans l'épuration d'un effluent et le développement bactérien. La nitrification optimale ne se fait qu'à des valeurs de pH comprises entre 7,5 et 9 (RODIER *et al.*, 2005).

- **Conductivité électrique (CE)**

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant électrique entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau. La conductivité est également fonction de la température de l'eau ; elle est plus importante lorsque la température est élevée (EDDABRA, 2011).

- **Turbidité**

C'est un paramètre indiquant la réduction de la limpidité de l'eau. Elle est due à la présence des matières en suspension non dissoutes (MES) ou des matières particulières issues de la dégradation de la matière animale et végétale (HAYZOUN, 2014).

II.1.2. Paramètres chimiques

- **Matières en suspension (MES)**

Elles désignent toutes les matières organiques/minérales qui ne sont pas solubles dans l'eau pour donner une eau trouble. Les matières en suspensions même à faible concentration sont susceptibles de réduire la transparence du milieu récepteur. Cette réduction se traduit par un abaissement de production de l'oxygène dissous par les phénomènes de photosynthèse (DEGREMENT, 1989).

➤ **Matières volatiles en suspension (MVS)**

Elles représentent la quantité de matières organiques contenues dans les MES et sont obtenues par calcination de ces MES à 525°C pendant 2 heures. La différence de poids entre MES à 105°C et MES à 525°C donne la « perte au feu » et correspond à la teneur en MVS en (mg/l) d'une eau (SATIN ET SELMI, 1999).

➤ **Matières minérales (MMS)**

Elles représentent le résultat d'une évaporation totale de l'eau, c'est-à-dire son « extrait sec » constitué à la fois par les matières en suspension et les matières solubles telles que les chlorures, les phosphates, etc. (SATIN et SELMI, 1999).

▪ **Demande biochimique en oxygène (DBO₅)**

La DBO₅ mesure la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique par voie biologique (bactéries), cette analyse s'effectue à une température de 20°C pendant 5 jours à l'obscurité. Les valeurs de la DBO₅ montrent la teneur des polluants biologiquement dégradables dans les milieux aquatiques. Elle est exprimée en mg d'O₂/L (BENKADDOUR, 2018).

Plus la DBO₅ est élevée, plus la quantité de matières organiques présentes dans l'échantillon est élevée.

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

La DCO est la mesure de la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation chimique de toute la matière organique biodégradable ou non contenue dans les eaux à l'aide du bichromate de potassium à 150°C. Elle est exprimée en mg O₂/l. La valeur du rapport DCO/DBO indique le coefficient de biodégradabilité d'un effluent, il permet aussi de définir son origine (SUSCHKA et FERREIRA, 1986).

Selon METAHRI, (2012), généralement la valeur de la DCO est :

DCO = 1,5 à 2 fois DBO Pour les eaux usées urbaines.

DCO = 1 à 10 fois DBO Pour tout l'ensemble des eaux résiduaires.

DCO > 2,5 fois DBO Pour les eaux usées industrielles.

▪ Notion debiodégradabilité

La biodégradabilité traduit l'aptitude d'un effluent à être décomposé ou oxydé par les micro-organismes qui interviennent dans le processus d'épuration biologique des eaux. La biodégradabilité est exprimée par un coefficient K (METAHRI, 2012), tel que, $K = DCO / DBO5$

- Si $k < 1,5$: cela signifie que les matières oxydables sont fortement biodégradables.
- Si $1,5 < K < 2,5$: cela signifie que les matières oxydables sont moyennement biodégradables.
- Si $K > 3$: les matières oxydables sont non biodégradables.

Un coefficient K très élevé traduit la présence dans l'eau d'éléments inhibiteurs de la croissance bactérienne, tels que, les sels métalliques, les détergents, les phénols et les hydrocarbures. La valeur du coefficient K détermine le choix de la filière de traitement à adopter, si l'effluent est biodégradable on applique un traitement biologique, dans le cas contraire on applique un traitement physico-chimique (METAHRI, 2012).

▪ Oxygène dissous

L'oxygène dissous est un composé essentiel de l'eau car il permet la vie de la faune aquatique et il conditionne les réactions biologiques qui ont lieu dans les écosystèmes aquatiques. La solubilité de l'oxygène dans l'eau dépend de différents facteurs, dont la température, la pression et la force ionique du milieu (REJSEK, 2002).

▪ Composés azotés

D'après BOUAOUN et AOUN (2004), l'azote est présent dans les eaux usées urbaines essentiellement sous forme organique ou ammoniacal. Le principe d'élimination de l'azote par voie biologique est basé sur son oxydation qui correspond à trois phases :

- Ammonification : transformation de l'azote organique en azote ammoniacal
- Nitrification : oxydation de l'azote ammoniacal en nitrites qui à leur tour sont oxydés en nitrates
- Dénitrification : au cours de laquelle les nitrates sont réduits en azote moléculaire N_2

➤ **Azote ammoniacal (NH⁴⁺)**

L'azote ammoniacal se présente sous la forme toxique NH₄⁺. Sa présence dans les eaux traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique, L'azote ammoniacal se transforme assez rapidement en nitrites et nitrates par oxydation (DJERMAKOYE, 2005).

➤ **Nitrites (NO₂⁻)**

Les ions nitrite (NO₂⁻) sont la forme intermédiaire entre l'ammonium (NH₄⁺) et les nitrates, issus de processus de nitrification par l'action des bactéries nitrifiantes (nitrosomonas) qui transforment l'ammonium en nitrites (BENKADDOUR, 2018).

Les nitrites constituent un poison dangereux pour les organismes aquatiques, même à de faibles concentrations, dont la toxicité augmente avec la température (RODIER et al., 2009).

➤ **Nitrates (NO₃⁻)**

Les nitrates constituent le produit final de l'oxydation de l'azote dans l'eau par l'action de bactéries nitrifiantes de genre nitrobacter qui transforment les nitrites en nitrates selon la réaction suivante (METAHRI, 2012).



➤ **Ortho-phosphates (PO₄³⁻)**

Le phosphore est présent dans l'eau sous plusieurs formes : phosphates, polyphosphates, phosphore organique etc. L'ion ortho-phosphate (PO₄³⁻) est la forme la plus abondante dans l'eau et provient en majeure partie des déjections animales. A des concentrations élevées dans l'eau, il provoque l'eutrophisation (METAHRI, 2012).

▪ **Métaux lourds**

Les métaux lourds sont des composés naturels présents dans tous les compartiments de l'environnement (eau, sol et air), mais en général en quantités très faibles: on dit que les métaux sont présents à l'état de trace (DIBENEDETTO, 1997).

Les métaux lourds que l'on trouve dans les eaux usées urbaines sont extrêmement nombreux. Les plus abondants (de l'ordre de quelques µg/l) sont le fer, le zinc, le cuivre et le plomb.

II.2. Paramètres biologiques

Les maladies d'origine hydrique rencontrées chez l'homme sont dues à des microorganismes pathogènes qui peuvent être des bactéries, des protozoaires, des helminthes, ou des virus. Ces pathogènes le plus souvent d'origine entérique, peuvent survivre dans l'eau et infecter l'homme par ingestion et/ou contact cutané muqueux avec des eaux contaminées par des fèces humains ou animaux (ASANO *et al.*, 2007).

Les eaux usées contiennent tous les microorganismes excrétés avec les matières fécales. Cette flore entérique normale peut être accompagnée d'organismes pathogènes (BELAID, 2010).

Le tableau suivant résume les principales maladies d'origine hydrique :

Tableau I. Principales maladies d'origine hydrique et leurs agents responsables.

Origine	Agents responsables	Maladies
BACTERIENNE	<i>Salmonella typhi</i>	Fièvre typhoïde
	<i>Shigella</i> sp	Dysenterie bacillaire
	<i>Vibrio cholerae</i>	Choléra
	<i>Escherichia coli</i> <i>Campylobacter jejuni</i> <i>Yersinia enterocolitica</i> <i>Salmonella</i> sp <i>Shigella</i> sp	Gastro-entérites aiguës et diarrhées
VIRALE	Virus hépatite A	Hépatite A
	Virus hépatite E	Hépatite E
	Poliovirus	Poliomyélite
	Virus de Norwalk Rotavirus Astrovirus Coronavirus Adénovirus Réovirus	Gastro-entérite aiguës et diarrhées
	<i>Entamoeba histolytica</i>	Dysenterie –amibienne

PARASITAIRE	<i>Giardia lamblia</i> <i>Cryptosporidium</i>	Gastro- entérite
--------------------	--	------------------

(HASLAY et LECLERC, 1993).

Les germes indicateurs d'une contamination fécale sont :

- **Coliformes Totaux (CT)**

Sous le terme de « coliformes » est regroupé un certain nombre d'espèces bactériennes appartenant à la famille des *Enterobacteriaceae*(DJERMAKOYE, 2005).

Ce sont des bactéries en forme de bâtonnets, gram-négatif, ne formant pas de spores, anaérobies facultatives, qui sont capables de fermenter le lactose avec formation de gaz sous 48 heures à 35 à 37°C. Elles sont capables d'exprimer l'enzyme β -D-galactosidase (ISO, 2012;MADIAGAN et al., 2012).

- **Coliformes fécaux**

Coliformes fécaux ou « coliformes thermotolérants », sont un sous-groupe des coliformes totaux qui présentent les mêmes caractéristiques, qui sont capables de fermenter le lactose à une température de 44°C. L'espèce la plus importante de ce groupe bactérien est *Escherichia coli* (*E. coli*) et dans une moindre mesure certaines espèces des genres *Citrobacter*, *Enterobacter* et *Klebsiella*(ELMUND et al.,1999; EMMANUEL,2004).

D'après TALIBY (2017),*Escherichia coli* est l'indicateur le plus spécifique de pollution par des matières fécales et de la présence possible de microorganismes pathogènes.

- **Streptocoques fécaux**

Les streptocoques fécaux (ou streptocoques du groupe D ou entérocoques) se présentent sous forme de coques en courtes chaînes, Gram positif, catalase négative et sont des bactéries aérobies-anaérobies facultatives (CHEVALER, 2002).

Ils sont plus résistants dans l'environnement et sont donc intéressants comme indicateurs de contamination fécale, même si certaines souches sont retrouvées naturellement dans les sédiments ou les sols (BYAPPANAHALLII et al., 2012).

Les germes pathogènes sont :

▪ **Staphylocoques**

Les staphylocoques sont des cocci de 0,5 à 1 µm de diamètre, ayant un regroupement cellulaire en grappe de raisin (diplocoque), à Gram positif, aéro-anaérobie facultatif. La température optimale de croissance est 37°C à un pH qui varie de 7,2 à 7,4.

L'espèce la plus pathogène de ce groupe est *Staphylococcus aureus* qui possède la coagulase (enzyme capable de coaguler le plasma sanguin) et responsable d'infections nosocomiales.

▪ **Spores anaérobies sulfite-réducteurs (ASR) :**

Ce sont des bacilles Gram positif, catalase négatif, immobiles, anaérobies stricts, capsulés ou sporulés, fermentant le glucose et le lactose et capable de réduire le sulfite de sodium en sulfure (BLOCK, 1982; HASLAY et LECLERC, 1993). Parmi les spores anaérobies sulfite-réductrices celles de *Clostridium perfringens*.

Ces spores ne sont pas seulement d'origine fécale, mais sont des germes ubiquistes, dont la présence dans l'eau est souvent révélatrice d'infiltration telluriques ou de matières organiques en putréfaction et sont considérées comme indicateur de l'élimination de kyste de protozoaires. Elles se rencontrent normalement dans les matières fécales humaines et animales ; leurs spores peuvent survivre dans l'eau et l'environnement pendant plusieurs mois (FIGARELLA et al., 2001).

▪ **Vibrions cholériques**

Vibrio cholerae ou bacille en virgule est l'agent causal du choléra. Il appartient à la famille des Vibrionaceae, du genre *Vibrio*, qui est essentiellement aquatique et principalement marin (TALIBY, 2017). Les *Vibrios* sont des bacilles à Gram négatif, droits ou incurvés, pourvu d'un flagelle, asporulé, d'un diamètre compris entre 0,5 et 0,8 µm et d'une longueur comprise entre 1,4 et 2,6 µm (EDDABRA, 2011).

▪ **Salmonelles**

Les salmonelles possèdent les caractères généraux de la famille des *Enterobacteriaceae*. Ce sont des bacilles Gram négatif, souvent mobiles par ciliature péritriche, asporulés, anaérobies facultatifs, fermentant le glucose avec ou sans production de gaz (CEAEQ, 2011).

L'agent causal de la fièvre typhoïde est le bacille typhique *salmonellatyphi*, qui vit dans les eaux polluées et qui possède une forte résistance au milieu extérieur. L'infection se fait par voie orale et ces germes sont éliminés de l'organisme avec les selles et les vomissures (OMS/UNICEF, 2000).

III. PROCÉDÉS D'ÉPURATION DES EAUX USÉES

III.1. Définition de la station d'épuration (STEP)

C'est une usine qui reçoit à partir d'un réseau d'assainissement de l'eau brute de différentes régions, elle est automatisée à l'élimination des polluants (carbone, azote, phosphore

et microorganismes) à l'aide des plusieurs fils de plus en plus performants assurant un rejet conforme qui ne présente aucun risque sur le milieu naturel (INRS, 2004).

III.2. Fonctionnement de la station d'épuration

Les types de traitement diffèrent d'un pays à un autre. La température, les applications attendues et les coûts d'investissements sont les principaux facteurs qui définissent le mode opératoire appliqué par la STEP (WERTHER et OGADA, 1999) (Figure 2).

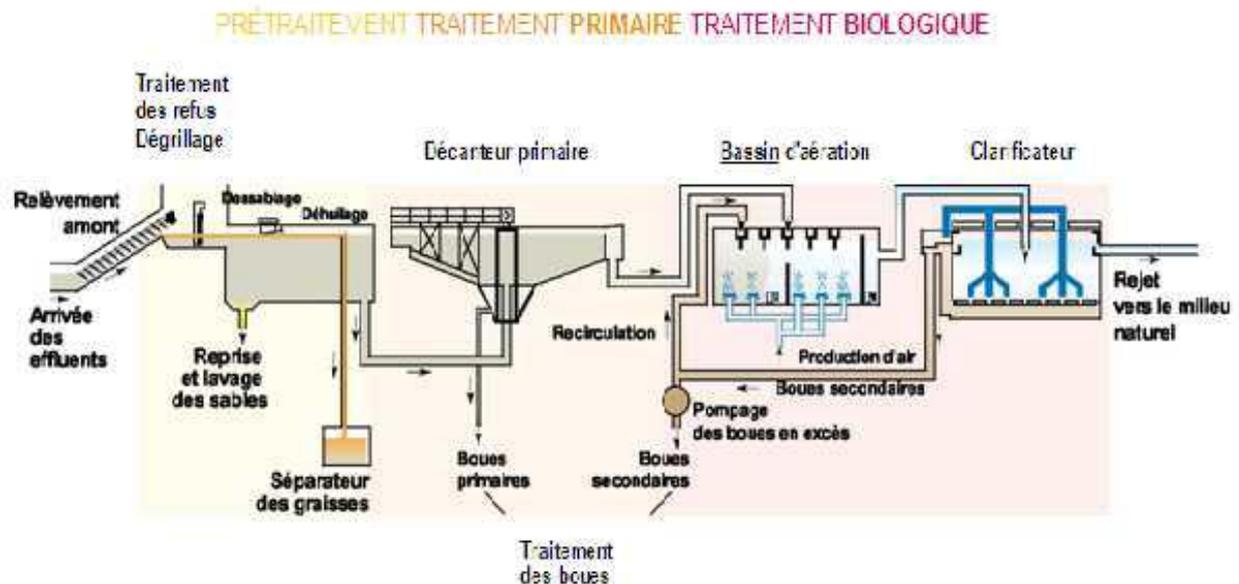


Figure 02. Schéma général de différents traitements des eaux usées (AUSSELET *et al.*, 2004).

III.2.1. Prétraitement

C'est une étape fondamentale applicable pour ne pas gêner la suite de traitement. Elle comprend le dégrillage, le dessablage et le déshuilage (dégraissage) (SATIN M, SELMI B, 1999).

➤ Dégrillage

Après le déversement des eaux brutes au travers de grilles à barreaux plus au moins espacés ou de tamis rotatifs l'eau va se débarrasser de toutes sortes d'éléments volumineux (plastique, etc.) (GUY ATLAN, 2003).

L'efficacité de ce traitement dépend essentiellement de l'écartement des barreaux des grilles qui sont de trois types :

- Dégrillage fin (écartement 3 à 10 mm).
- Dégrillage moyenne (écartement 10 à 25 mm).
- Dégrillage grossier (écartement 50 à 100 mm) (SATIN et SELMI, 2006).

➤ **Dessablage**

Réalisé par décantation, le dessablage vise à éliminer les sables et les graviers. L'écoulement de l'eau à une vitesse réduite dans un bassin appelé « dessableur » entraîne leur dépôt au fond de l'ouvrage. Ces particules sont ensuite aspirées par une pompe. Les sables récupérés sont essorés, puis lavés avant d'être envoyés en décharge, soit réutilisés, selon la qualité du lavage (ONA, 2011).

➤ **Déshuilage et dégraissage**

Les opérations de dégraissage et de déshuilage consistent à séparer des produits de densité légèrement inférieure à l'eau, par effet de flottation, naturelle ou assistée dans un enceinte liquide de volume suffisant.

Le dégraissage est donc un compromis entre une rétention maximale des graisses et un dépôt minimal des boues de fond fermentescibles.

Le déshuilage est habituellement réservé à l'élimination d'huiles présentes en quantité notable dans les eaux usées (DEGREMENT, 2005).

III.2.2. Traitement primaire (physico-chimique)

➤ **Décantation**

C'est le procédé le plus utilisé dans toutes les usines d'épuration des eaux, pour la séparation des MES et des colloïdes dont la densité est supérieure à celle de l'eau par gravité (DAHOU et BREK ADEM, 2013).

➤ **Coagulation-floculation**

Les procédés de coagulation-floculation aident à éliminer des particules plus petites qui sont responsables de la détérioration de la qualité physico-chimique de l'eau, il s'agit essentiellement des particules colloïdales. En premier lieu la coagulation déstabilise les particules en suspension. La floculation mis en œuvre en deuxième lieu à l'aide de certains additifs, consiste à faire rassembler les particules déstabilisées pour former des floccs plus en moins grandes faciles à éliminer (LADJEL et BOUCHAFER, 2006).

III.2.3. Traitement secondaire (épuration biologique)

Parmi les traitements biologiques on distingue les procédés intensifs et extensifs.

- Intensifs dont les boues activées, les disques biologiques et les lits bactériens.

- Extensifs dont le lagunage et l'infiltration-percolation.

Dans cette étude, nous nous intéresserons aux boues activées.

➤ **Boues activées**

Le traitement biologique des eaux usées ou autrement dit « la boue active » dépend de la nature et de la capacité des microorganismes qui sont mis en jeu pour dégrader les différents polluants qu'ils reçoivent de diverses sources, qu'elle soit domestique, industrielle ou agricole. Cette microflore (bactéries, champignons et protozoaires) habituelle a donc la capacité d'accumuler les polluants considérables comme une source d'énergie (nutriments). (DHAOUADI, 2008).

Il s'agit donc d'un réacteur qui contient les eaux à traiter, dans lequel est injectée une boue chargée de bactéries. Les bactéries consomment la matière organique et contribuent aussi à l'élimination de l'azote et du phosphore. A la sortie du réacteur, l'effluent passe dans un clarificateur. La boue décantée est séparée en deux flux : l'un rejoint le réacteur et l'autre est évacué vers la filière des boues pour continuer leur traitement (BELHAMADI, 2011).

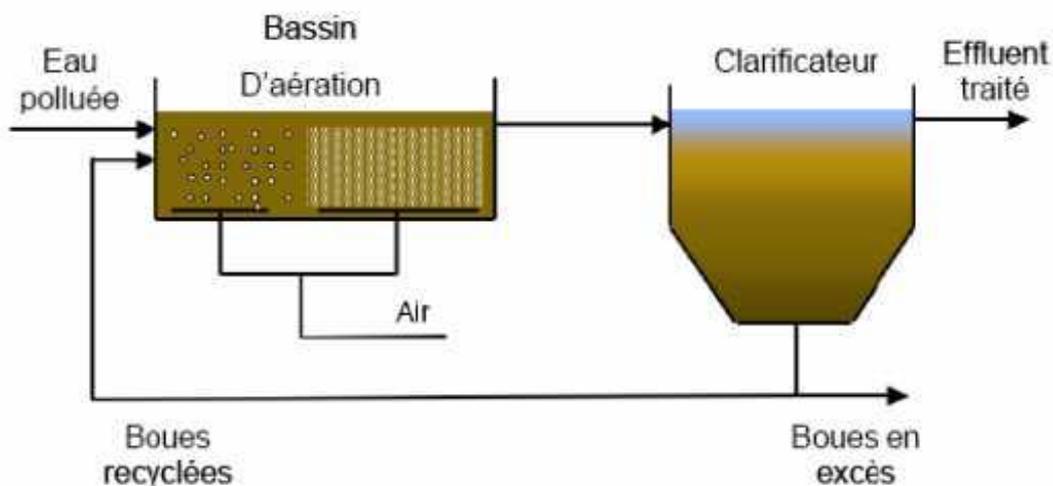


Figure 03. Processus des boues activées (BASSOMPIERRE, 2007)

III.2.4. Traitement tertiaire (procédé de désinfection)

Les eaux traitées par les méthodes décrites précédemment vont rejoindre le milieu naturel, mais le problème qui se pose est de s'assurer que cette eau ne cause aucun danger pour le fonctionnement de cet écosystème. Pour cela les eaux usées épurées nécessitent des traitements supplémentaires à fin d'éliminer les microorganismes pathogènes susceptibles de provoquer des problèmes sanitaires (METAHRI, 2012). Pour cela différentes méthodes peuvent être utilisées :

-Le chlore est un oxydant puissant qui réagit à la fois avec la matière organique et avec les microorganismes (**MONARCA et al., 2000 ; METAHRI, 2012**).

-L'ozone est un procédé de désinfection qui permet l'élimination des bactéries, des protozoaires et qui est considéré comme le moyen le plus efficace pour l'élimination des virus (**LAZAROVA, 2003**).

-Le traitement de désinfections physique par les ultraviolet UV (**LAZAROVA, 2003**).

IV. POSSIBILITES DE REUTILISATION DES EAUX EPUREES

La réutilisation des eaux est leur emploi de nouveau à différents usages. Elle est peut-être réalisée d'une manière directe ou indirecte :

- La réutilisation directe correspond à l'utilisation immédiate de l'eau épurée soit pour l'irrigation ou d'autre activité (**LAZAROVA, 1998**).

- La réutilisation indirecte correspond à l'utilisation de l'eau épurée sous forme diluée c'est-à-dire son rejet dans le milieu naturel (rivières, lacs, etc.) (LAZAROVA, 1998).

IV.1. Domaine de réutilisation des eaux épurées

Dans le monde, la valorisation des eaux épurées est faite de différentes façons. BIXIO *et al*, (2005), ont classé les différents domaines de réutilisation selon 4 catégories, (1) usage agricole, (2) usage urbain, périurbain et recharge des nappes, (3) usage industriel, (4) usage mixte. La réutilisation de l'eau est essentiellement pour l'irrigation (70%), mais aussi essentiellement pour les autres usagers (usages industriels à 20% et usages domestiques à 10%).

IV.2. Normes de rejet

Tableau II. Normes physico-chimiques de rejet.

Paramètres	Unités	Norme	
		JORA	OMS
Température	°C	30	30
Ph	-	6.5-8.5	6.5-8.5
MES	mg/l	30	30
DCO	mg/l	90	90
DBO₅	mg/l	30	30
Nitrates	mg/l	50	50
Nitrite	mg/l	-	-
Ortho_ phosphates	mg/l	-	2
OD	mg/l	-	5

(OMS2006 et le JORA 2006, 2012, 2013).

Tableau III. Normes microbiologiques de rejet des eaux épurées

Micro-organisme	Concentration (en Nbr par litre)
Bactéries	
➤ Coliformes totaux	10^3 - 10^7
➤ E. coli	10 - 10^6

➤ Entérocoques	10-10 ⁵
➤ Salmonelles	0-10
➤ Vibrion cholériques	0-10

(OMS 2006).

PARTIE
EXPÉRIMENTALE

CHAPITRE I
MATÉRIEL ET MÉTHODES

I. Matériel et Méthodes

Il s'agit d'une étude préliminaire qui a couvert une période de trois mois, allant du début du mois de février jusqu'à la fin du mois d'avril 2020.

Ce travail a concerné les analyses physico-chimiques et microbiologiques réalisées au sein de la station d'épuration de «**BEN-CHAABANE**» située à BOUFARIK et le laboratoire d'hygiène de BLIDA.

I.1. Présentation de la zone d'étude

La station d'épuration des eaux usées de Boufarik est entrée en service en fin d'année 2019 avec une capacité de 375 000 EH et un volume d'eaux usées à traiter de 60 000 m³/j. Cette station de type boues activées à moyenne charge s'étend sur une superficie de 6 Ha. Elle a pour rôle la protection de la nappe phréatique de la Mitidja et les forges de la région contre une éventuelle contamination et la préservation de la population contre les maladies à transmission hydrique. Les eaux épurées et les boues issues du traitement sont réutilisées dans le domaine agricole (ONA, 2019).

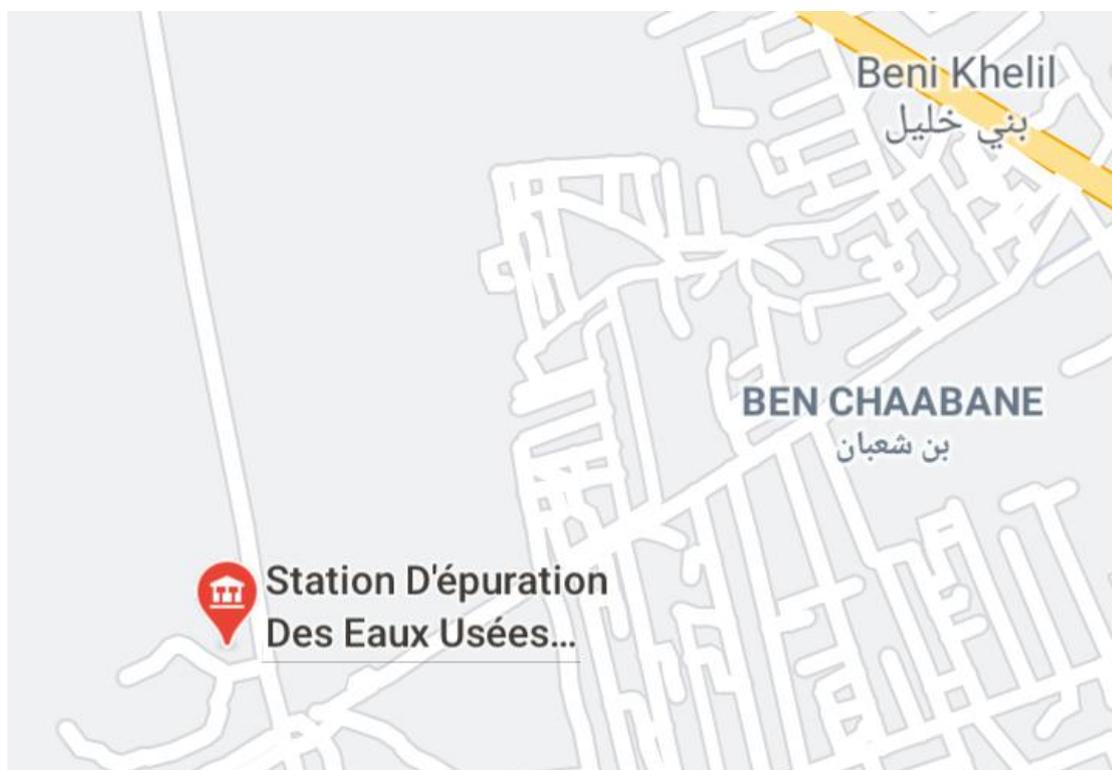


Figure 04. Vue satellitaire de la STEP de BENCHAABANE (GOOGLEEARTHSEARCH, 2020)

I.2. Réseau d'assainissement

L'ouvrage de réception permet d'acheminer l'ensemble des rejets de 07 communes vers la station d'épuration et d'éliminer toutes les émissaires naturels par la collecte et le raccordement de tous les rejets d'eaux usées des agglomérations de Boufarik, Benkhellil, Soumaa, Guerrouaou, Beni Tamou, Oued El Alleug et Bouinane.

Tableau IV. Les caractéristiques de l'ouvrage de réception

Données	Unité	Valeur
Débit	m ³ /h	5500
Largeur	m	2,5
Hauteur d'eau	m	1,73
Vitesse dans l'ouvrage	m/s	0,35
Longueur de surverse (voir annexe n°II)	m	4

(VEOLEA, 2019)

I.3. Etapes de traitement

La station de BENCHABANE assure une série de traitement qui suit le prétraitement. Cette dernière est divisée en 3 files, chaque file est composée des mêmes équipements :

- 1 décanteur primaire.
- 1 bassin biologique.
- 1 clarificateur.

La figure ci-dessous résume les étapes de traitement de la STEP de BEN-CHAABANE (Voir annexe n°I) :

MATERIEL ET METHODES

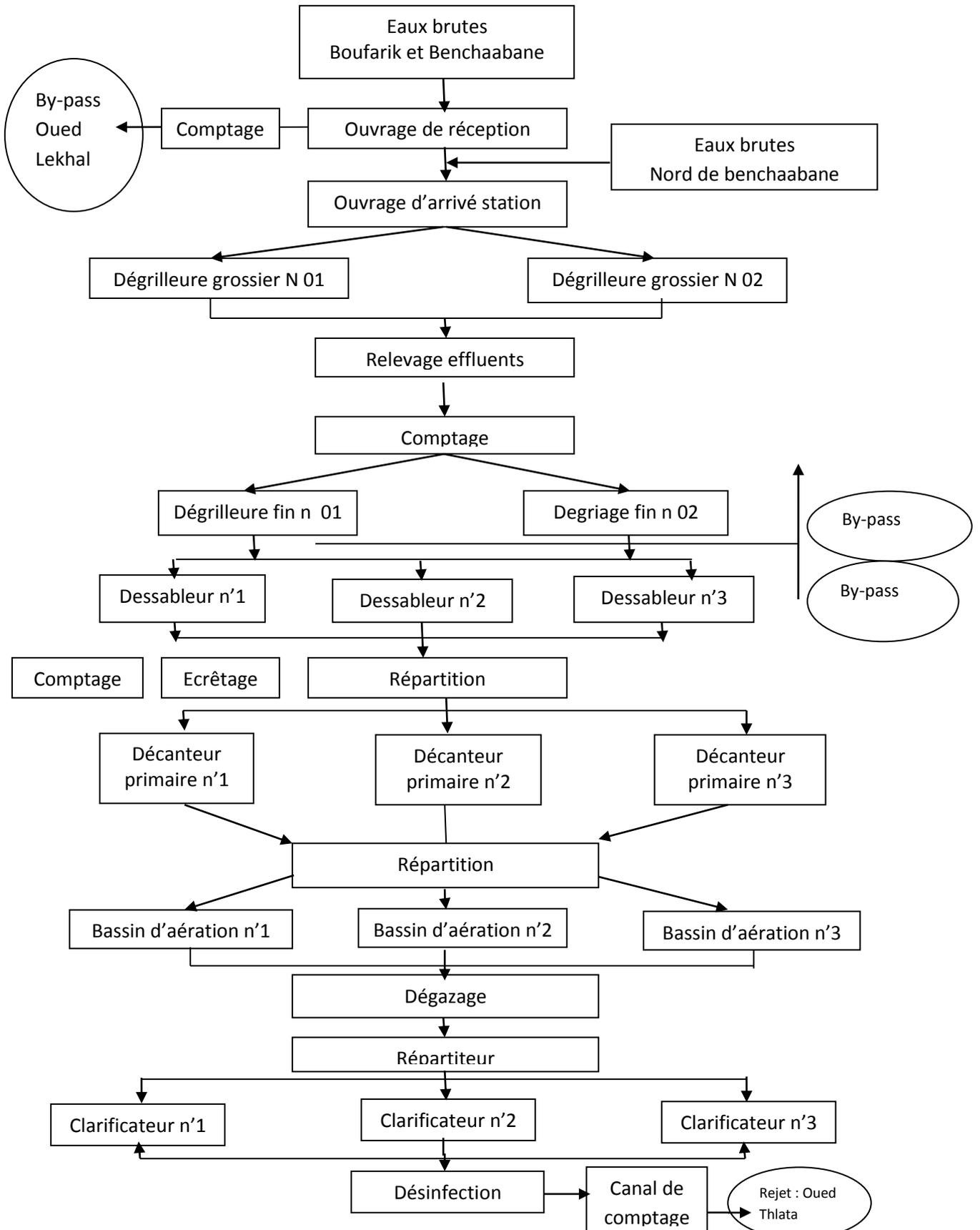


Figure 05. Schéma de la filière de traitement de l'eau de la station de BEN-CHAABANE

(VEOLEA, 2019)

I. 4. Matériels

➤ Matériels non biologique

Le matériel non biologique (appareillage, réactifs, solutions et milieux de culture) est mentionné en annexe n°2.

I. 5. Méthodes

I.5.1. Points d'échantillonnage

Selon VEOLEA(2019), toutes les opérations, prises d'échantillons et analyses sont effectuées dans la station d'épuration des eaux usées de BOUFARIK.

Les points de prélèvements sont les suivants :

- **File eau**

-Préleveur AB AE 1000 : Préleveur eau brute aval dégrilleur.

-Préleveur LN AE : Préleveur eau épurée.

I.5.2 Procédures d'échantillonnage et de conservation des échantillons

Le prélèvement d'un échantillon d'eau doit être fait avec un grand soin afin de ne pas fausser les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. Tous les échantillons doivent être homogènes, représentatifs, obtenus sans modifier les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques de l'eau et conservés à une température de 4°C dans l'obscurité si les analyses ne sont pas réalisées immédiatement.

L'échantillonnage a été réalisé pendant une période allant du 13 février au 12 avril 2020 à raison de deux prélèvements par mois pour les analyses physico-chimiques. Un seul prélèvement a été effectué le 08 mars 2020 pour l'analyse bactériologique(tableau V, VI).

- **Dans le cas d'un préleveur manuel**

Il est pratiqué pour les analyses microbiologiques, par l'utilisation des flacons stériles en verre borosilicaté. Le prélèvement consiste à faire plonger une bouteille propre à une certaine distance du fond (50cm), en évitant la remise en suspension des dépôts, puis verser son contenu dans les flacons (250ml). Les échantillons doivent être transportés dans une enceinte réfrigérée (glacière) à une température inférieure à 4°C avec une conservation qui ne dépasse pas les 8 heures.

MATERIEL ET METHODES

- **Dans le cas d'un préleveur automatique**

L'étude des paramètres physico-chimiques nécessites des prélèvements de différents points qu'ont été effectués grâce à des préleveurs automatiques équipés de 24 récipients d'un litre en polyéthylène haut densité (PEHD).

Tableau V. Nombres d'échantillonnages et d'analyses

Points de prélèvements	Etude microbiologique		Etude physico-chimique	
	EB	EE	EB	EE
Quantité de prélèvement	2 litres	2 litres	1 litre	1 litre
Nombre d'analyses	03	03	12	12

Renseignements : Situation du point de prélèvement ; méthode de prélèvement ; Date, heure ; température et conditions météorologiques ; Observations particulières.

EB : Eau brute **BB :** boue biologique **EE :** Eau épurée

Tableau VI.
de chaque

Prélèvements	Dates	Heurs	Dates et heures prélèvement
1	13/02/2020	09 :00	
2	20/02/2020	09 :25	
3	08/03/2020	10 :10	
4	15/03/2020	09 :45	
5	05/04/2020	09 :05	
6	12/04/2020	09 :35	

I.6. Analyses physico-chimiques

I.6.1. Température, pH, conductivité électrique et oxygène dissous

Ces paramètres ont été déterminés par un appareil multi-paramètre (LOVIBOND).

➤ Mode opératoire

- Verser une quantité d'échantillon dans un bécher.
- Homogénéiser l'échantillon en agitant le contenu.
- Introduire la sonde conçue pour l'analyse (soit pH, T, O₂ ou conductivité) dans notre échantillon et essayer d'homogénéiser un peu l'échantillon avec une simple agitation à l'aide de la sonde.

• Expression des résultats

Les résultats s'affichent sur l'écran d'appareil :

- Température en °C.
- Conductivité électrique en $\mu\text{s}/\text{cm}$.
- Oxygène dissous en mg/l.

I.6.2. Matière en suspension (MES)

Les MES sont déterminées par filtration d'un volume d'eau usée sur filtre en fibre de verre de 0,45 μm déjà pesé, à l'aide d'un équipement de filtration sous vide ou sous pression. Le filtre est ensuite séché à 105°C et la masse du résidu retenu sur le filtre est déterminée par pesée.

➤ Mode opératoire

- Laisser les échantillons équilibrés à une température ambiante.
- Peser le filtre à l'aide d'une balance (noter son poids dès que la balance devient stable).
- Placer le filtre, la partie lisse en bas dans l'entonnoir du dispositif de filtration et insérer l'entonnoir sur la fiole à vide.
- Agiter vigoureusement le flacon contenant l'échantillon puis transférer immédiatement dans l'entonnoir du dispositif de filtration.
- Pour les eaux brutes, le volume versé doit être compris entre 25 et 100 ml.
- Pour les eaux épurées, le volume versé doit être compris entre 250 et 1000 ml.
- Retirer avec prudence le filtre de l'entonnoir à l'aide de pince à extrémités plates.

MATERIEL ET METHODES

-Mettre le filtre dans le support de séchage et le sécher dans l'étuve à 105°C pendant au moins 2 heures.

-Retirer le filtre de l'étuve puis le peser.

- **Calcul et expression des résultats**

La teneur en MES est calculé selon l'expression suivante :

$$\frac{(M_1 - M_0) \times 10^3}{V} = \frac{\quad}{\quad}$$

Avec :

P : teneur en matières en suspension, en milligrammes par litre.

V : volume d'échantillon en millilitre.

M₁ : masse du filtre après filtration en milligramme.

M₀ : masse du filtre avant filtration en milligramme.

Les analyses mentionnées ci-dessous réalisées avec un test à cuve vario et les appareillages utilisés sont de marque LOVIBOND.

I.6.3. Demande chimique en oxygène (DCO)

Le protocole est le suivant :

-Préparer deux cuvettes de réactif. L'une des deux cuvettes sera la cuvette du blanc.

-Pipeter 2ml d'eau déminéralisée dans la cuvette du blanc et 2ml d'échantillon dans la cuvette réservée à l'échantillon en fermant les cuvettes.

-Mélanger soigneusement en mettant prudemment les tubes à l'inverse puis à l'endroit en faisant attention au développement de la chaleur.

- Fractionner les cuvettes dans un thermoréacteur RD 125 préchauffé pendant 120 min à 150°C.

-Retirer les cuvettes du thermoréacteur RD 125 et laisser les refroidir à environ 60°C.

-Mélanger le contenu en mettant les tubes plusieurs fois à l'envers puis à l'endroit.

-Laisser d'abord refroidir à température ambiante (15-25°C) puis effectuer les mesures dans le spectrophotomètre XD 7000, XD 7500.

- **Expression des résultats**

Les résultats sont exprimés en milligrammes d'oxygène par litre.

I.6.4. Demande biochimique en oxygène (DBO) Norme ISO 5815 :1989

La demande biochimique en oxygène est la quantité d'oxygène présente dans l'eau après sa consommation par les bactéries durant la dégradation de la matière organique par des procédés biochimique.

➤ **Principe**

Le post de mesure de la DBO consiste en 1 flacon d'échantillon et une sonde DBO qui constitue un système fermé. Dans le flacon au-dessus du volume d'échantillon, se trouve un volume de gaz définie. Au cours de la détermination de la DBO, les bactéries présentes dans l'eau usée consomment l'oxygène dissout dans l'échantillon. Celui-ci est remplacé par l'oxygène qui se trouve au fond du flacon. Le dioxyde de carbone formé lors de la réaction est combiné chimiquement grâce à l'hydroxyde de potassium qui se trouve dans le joint du flacon.

➤ **Mode opératoire**

- Contrôler la valeur pH de l'échantillon, elle doit être comprise entre 6.5 et 7.5.
- Bien mélanger l'échantillon, le laisser reposer un court moment puis filtrer ou homogénéiser.
- Pour effectuer la mesure DBO, faut d'abord deviser la valeur DCO sur deux. Le résultat obtenu doit être inclus dans la moitié supérieure de plage de mesure (Tableau VII).
- Mesurer exactement le volume d'échantillon requis à l'aide du ballon de débordement correspondant et verser l'échantillon dans le flacon DBO.
- Les volumes d'échantillons doivent être exactement dosés par l'inhibiteur de nitrification (Selon la table), afin d'éviter des erreurs de mesure importantes.
- Placer un barreau d'agitation dans le flacon DBO.
- Remplir le joint avec 2-3 gouttes de solution KOH et le placer dans le flacon afin d'éviter le développement d'oxygène.
- Mettre l'échantillon dans l'oxidirect.
- Incuber l'échantillon selon la norme à 20 °C pendant 5 jours dans le DBO mètre.

• **Expression des résultats**

La valeur DBO s'affiche directement sur l'écran inférieur de l'appareil en mg/l O₂.

Tableau VII. Guide de la mesure de la DBO

Plage de mesure DBO en mg/l	Volume d'échantillon	Dosage ATH
0 – 40	482	10 gouttes
0 – 80	360	10 gouttes
0 – 200	244	5 gouttes
0 – 400	157	5 gouttes
0 – 800	94	3 gouttes
0 – 2000	56	3 gouttes
0 – 4000	21.7	1 goutte

(VEOLEA, 2019)

I.6.5. Dosage de l'azote total NF EN 25663/ Norme ISO 5663 AFNOR 1994

➤ Mode opératoire

- Préparer deux cuvettes de fractionnement TN Hydroxyde HR. L'une des deux cuvettes sera la cuvette de blanc
- En ouvrant les cuvettes, verser dans chaque cuvette un sachet de poudre vario TN Persulfate Réactif.
- Versé 0,5 ml d'eau déminéralisée dans la cuvette de blanc et 0,5 ml d'échantillon dans la cuvette réservée à l'échantillon, en fermant les cuvettes.
- Mélanger en agitant fortement (> 30 sec).
- Fractionner les cuvettes dans un thermoréacteur RD 125 préchauffé pendant 30 min à 100 °C.
- Retirer de thermoréacteur RD 125 et laisser le refroidir à température ambiante.
- En ouvrant les cuvettes, verser un sachet de poudre Vario TN Réactif A.
- Fermer les cuvettes et mélanger le contenant avec agitation (> 15 sec).
- Mettre les deux cuvettes dans le Spectrophotomètre XD 7000, XD 7500 (Marque) pendant 3 min puis retirer-les.

MATERIEL ET METHODES

- Ouvrir les cuvettes et dans chaque cuvette verser un sachet de poudre vario TN réactif B et mélanger le contenu (>15 sec).
- Faire introduire les cuvettes une autre fois dans l'appareil de mesure et laisser réagir pendant 2 min.
- préparer deux cuvettes TN acide LR/HR (réactif C), l'une des deux cuvettes sera la cuvette du blanc.
- Dans la cuvette du blanc verser 2 ml de blanc fractionné traité et 2 ml d'échantillon fractionné déjà préparé dans la cuvette réservée à l'échantillon.
- Mélanger soigneusement le contenu en mettant prudemment le tube à l'envers (10x).
- Effectuer la lecture à l'aide d'un spectrophotomètre XD 7000, XD 7500.

• Expression des résultats

Le résultat s'affiche sur l'écran en mg/l.

I.6.6. Dosage de l'ammonium(NH₄⁺)

Le mode opératoire est le suivant :

- Préparer deux cuvettes de réactif. L'une des deux cuvettes sera la cuvette du blanc.
- Verser 0,1 ml d'eau déminéralisée dans chacune des cuvettes. Ainsi qu'un sachet de poudre Vario AMMONIA Salicylate F5 et un sachet de poudre Vario AMMONIA Cyanurates F5.
- Fermer les cuvettes et dissoudre le contenu en agitant. Laisser les cuvettes réagir pendant 20 min.
- Effectuer la lecture à l'aide d'un spectrophotomètre XD 7000, XD 7500.

• Expression des résultats

Le résultat s'affiche sur l'écran en mg/l

I.6.7. Dosage des Nitrates(NO₃⁺)

Le mode opératoire est le suivant :

- Verser 1ml d'échantillon dans la cuvette de réactif (Réactif A).
- Mélanger soigneusement le contenu en mettant prudemment le tube à l'envers puis à l'endroit.
- Placer la cuvette réservée à l'échantillon dans le spectrophotomètre XD 7000, XD 7500 puis appuyer sur la touche ZERO.
- Retirer la cuvette de la chambre de mesure, ajouter un sachet de poudre Vario Nitrates Chromotropic.
- Mélanger le contenu

- Placer la cuvette d'échantillon dans l'appareil adéquat et réaliser la lecture à l'aide du spectrophotomètre XD 7000, XD 7500.

- **Expression des Résultats**

Le résultat s'affiche à l'écran en mg/l

I.6.8. Dosage des Nitrites(NO₂⁻)

Nous avons procédé comme suit :

- Verser 0,5 ml d'échantillon dans la cuvette de réactif et mélanger le contenu.

- Ajouter une cuillère de mesure rase de No. 8 (noir) Nitrite-101 et dissoudre le contenu en agitant.

- Effectuer la lecture à l'aide d'un spectrophotomètre XD 7000, XD 7500.

- **Expression des résultats**

Le résultat s'affiche à l'écran en mg/l.

I.6.9. Dosage du phosphate total

Le mode opératoire est :

- Versé 5 ml de l'échantillon dans la cuvette.

- Ajouter une cuillère de mesure rase No. 4 (Blanc) phosphates -103.

- Bien mélanger le contenu en mettant le tube plusieurs fois et mettre la cuvette dans un thermoreacteur RD 125 préchauffé à 100°C pendant 30 mn.

- Retirer la cuvette de thermoreacteur RD 125, mélanger le contenu et laissé refroidir à température ambiante de 15 à 25° C.

- Ajouter 0,1 ml (2 gouttes) phosphate -101 de l'échantillon fractionné, fermer la cuvette et bien mélanger le contenu.

- Ajouter une cuillère de mesure de rase No. 4 (Blanc) phosphates -102 et dissoudre le contenu en agitant.

- Effectuer la lecture à l'aide d'un spectrophotomètre XD 7000, XD 7500.

- **Expression des résultats**

Le résultat s'affiche à l'écran en mg/l.

I.7. Analyses Bactériologiques

Les analyses microbiologiques des eaux usées sont portées dans un premier temps sur le dénombrement de la flore mésophile aérobie totale, à savoir les coliformes totaux (CT), les coliformes (CF) et les streptocoques fécaux (SF). Dans un second temps elles concernent sur l'isolement et l'identification de bactéries pathogène.

Selon **EDDABRA (2011)**, les méthodes utilisées pour la détermination des indicateurs de pollution fécale sont multiples, on distingue :

- La filtration sur membrane: basée sur la filtration des échantillons à travers des filtres de 0,45 μm de diamètre et la mise en culture du filtre sur un milieu gélosé dans des conditions (durée, température) adaptées au micro-organisme recherché.
- L'étalement sur une gélose sélective d'une prise d'essai de l'échantillon ou d'une dilution (entre 0,1 et 0,5 mL).
- La dilution en milieu liquide ou le nombre le plus probable (NPP): consiste en l'ensemencement de prises d'essai de l'échantillon et/ou de dilutions dans un milieu de culture liquide.

Dans le cadre de notre étude, l'énumération bactérienne a été réalisée par dénombrement indirect par la technique de dilution au niveau de laboratoire d'hygiène de Blida.

I.7.1. Préparation des dilutions

Le choix du nombre de dilution est basé essentiellement sur la charge microbienne de l'eau à analyser. Une série de dilutions (de 10^{-1} à 10^{-6}) à partir de la solution mère est réalisée pour réduire le nombre des micro-organismes par unité de volume qui doit permettre d'effectuer le dénombrement des colonies afin d'obtenir des résultats interprétables.

Nous avons effectué une dilution de (10^{-5}) pour l'eau usée brute (EB) et de (10^{-3}) pour l'eau épurée (EE). Selon les étapes suivantes (figure 06):

- ✓ Prendre une série de tubes stériles de 10 ml contenant 9ml d'eau distillée stérile.
- ✓ Ajouter dans le premier tube 1 ml de l'échantillon à analyser, fermer et agiter le tube ; la suspension alors obtenue est de 10^{-1}

MATERIEL ET METHODES

- ✓ De la même façon prélever 1ml de la dilution 10^{-1} et transférer dans le deuxième tube afin d'obtenir la dilution 10^{-2}
- ✓ Répéter la même procédure jusqu'à atteindre la dilution idéale.

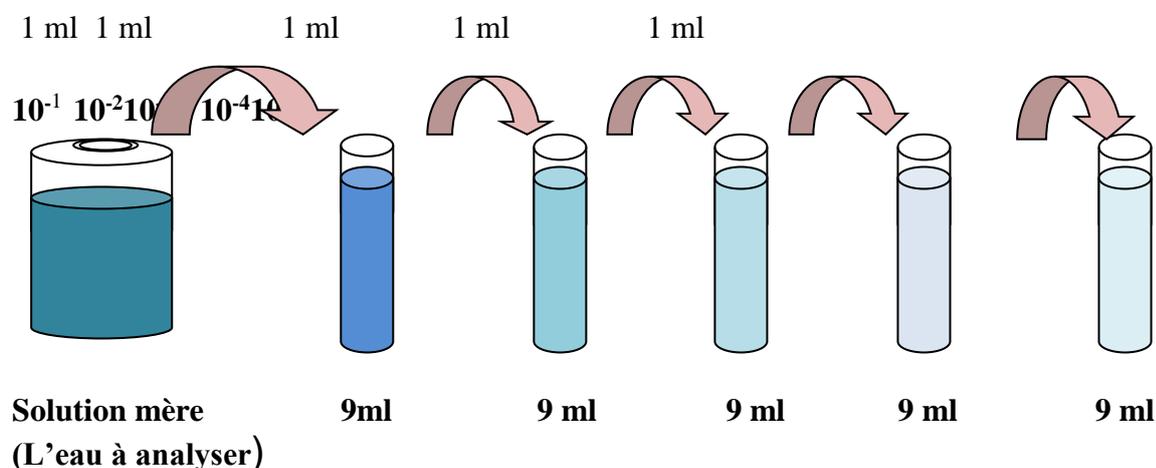


Figure06. Préparation des dilutions

I.7.2. Recherche et dénombrement des bactéries indicatrices de contamination fécale

La recherche et le dénombrement des CF et des SF ont été effectués selon la méthode de dénombrement en milieu liquide par détermination du nombre le plus probable (NPP). Les résultats sont déterminés à partir de la table de Mac Grady (**RODIER et al., 2009**).

❖ Recherche et dénombrement des coliformes

La colimétrie consiste à déceler et dénombrer les germes coliformes dont les CF. Elle se réalise en deux étapes :

- La recherche présomptive des coliformes totaux sur milieu Bouillon lactosé au pourpre de Bromocrésolé (BCPL).
- La recherche confirmative des coliformes fécaux sur milieu Schubert.

➤ Test de présomption : Recherche et dénombrement des coliformes totaux

Il est nécessaire d'ensemencer des tubes de Bouillon lactosé au pourpre de bromocrésolé (BCPL), muni d'une cloche du Durham avec l'eau à analyser.

- Verser 50 ml dans un flacon contenant 50 ml de milieu BCPL D/C.
- Pipeter 5 fois 10 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu BCPL D/C et 5 fois 1 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu BCPL S/C (à partir de dilution).

MATERIEL ET METHODES

- Chassez le gaz présent dans les cloches de durham et bien mélangé le milieu et l'inoculum (figure 07).

- **Incubation**

L'incubation se fait à 37°C pendant 24 à 48 heures.

- **Lecture**

Sont considérés comme positifs les tubes présentant à la fois un:

- Dégagement de gaz (supérieur au 1/10 de la hauteur de la cloche).
- Trouble microbien accompagné d'un virage du milieu du pourpre au jaune.

➤ **Test de confirmation : Recherche et dénombrement des coliformes thermotolérants**

La mise en évidence des Coliformes fécaux et surtout *E.colis* effectuée à partir des tubes positifs par le test de Mackenzie (test confirmatif) qui consiste à un repiquage des tubes BCPL positif trouvés lors du dénombrement des coliformes totaux dans des tubes contenant le milieu Schubert muni d'une cloche de durham (figure 08).

- **Incubation**

L'incubation se fait cette fois-ci dans l'étuve à 44°C pendant 24 à 48h.

- **Lecture**

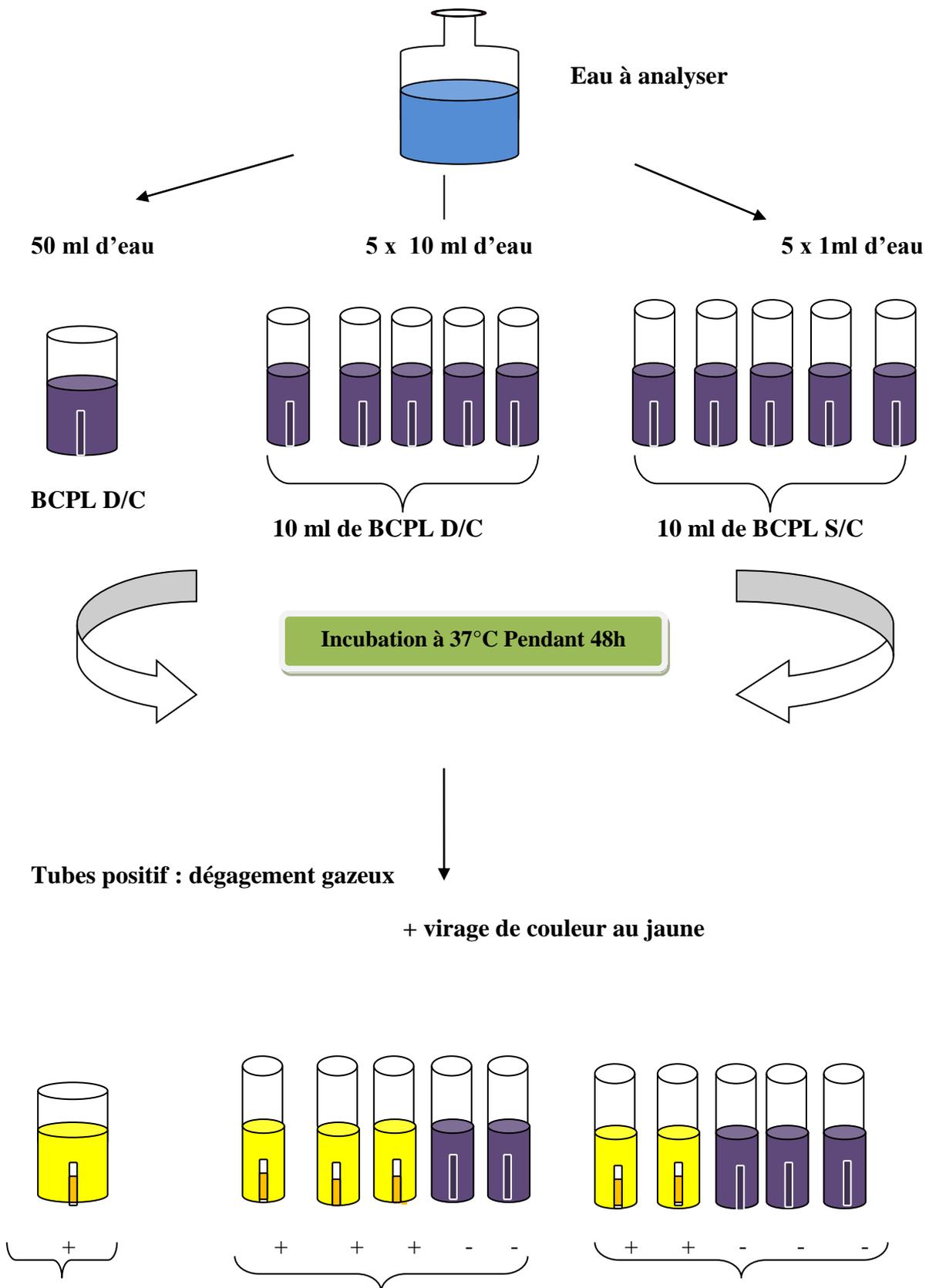
Après 24h d'incubation, on ajoute dans les tubes présentant un dégagement gazeux important, 2 à 3 gouttes de réactif de Kovacs.

➡ La présence d'indole se signale par l'apparition d'un anneau rouge en surface.

Sont considérés comme positifs, les tubes présentant à la fois :

- Dégagement de gaz.
- Un anneau rouge en surface témoin de la production d'indole par *Escherichia coli*.

MATERIEL ET METHODES



MATERIEL ET METHODES

1

3

2

Figure 07. Recherche et dénombrement des coliformes en milieu liquide

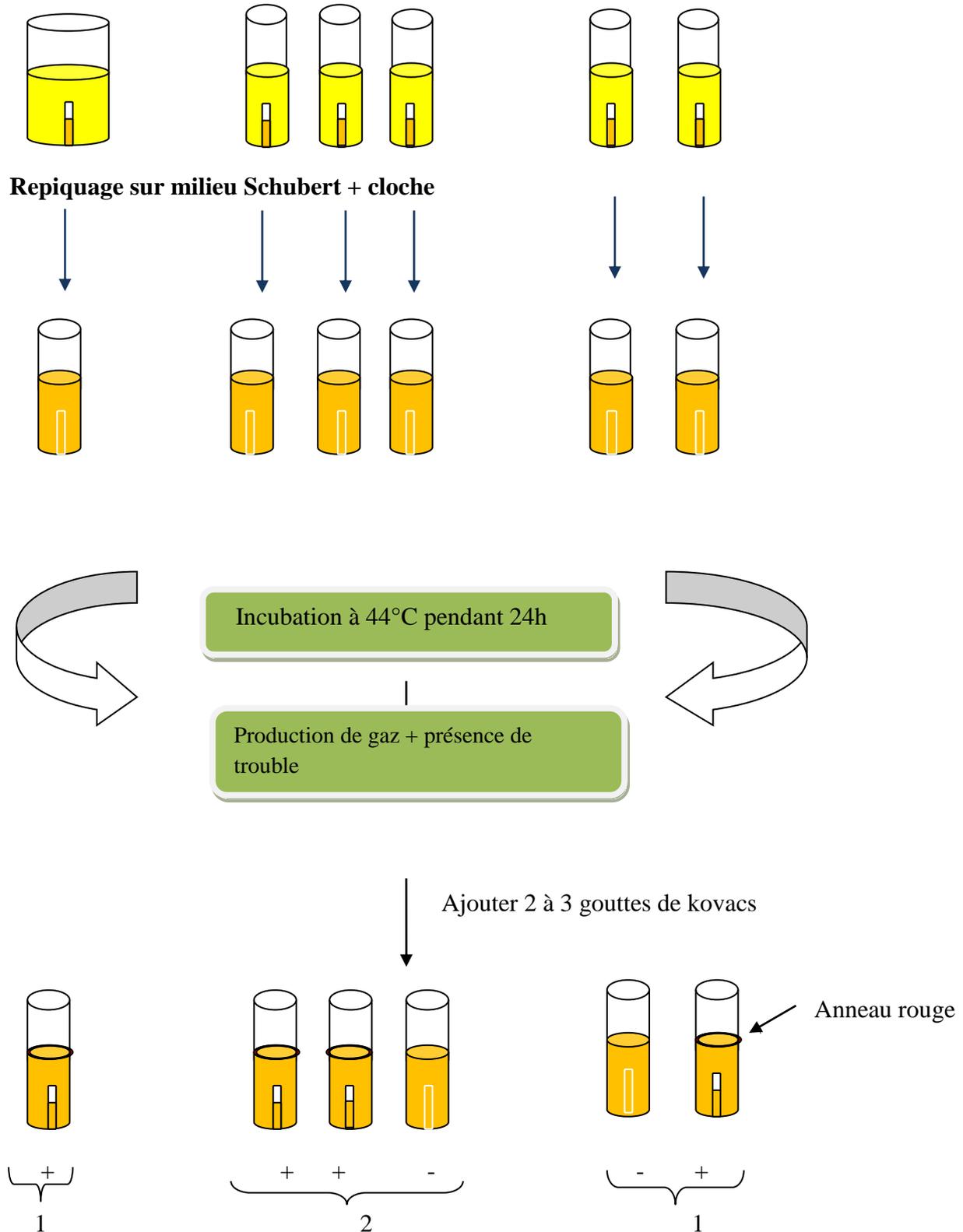


Figure08. Recherche et dénombrement des coliformes fécaux

❖ Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux

Les SF sont dénombrées en milieu liquide à l'aide de deux bouillons de culture (milieu de **Rothe** et le milieu **Eva-Litsky**). Cette méthode fait appel à deux tests consécutifs à savoir: test de présomption suivi du test de confirmation.

Les mêmes dilutions sont effectuées pour le dénombrement des Streptocoques fécaux.

➤ Test présomptif

La recherche des streptocoques fécaux se fait en bouillon à l'Azide de Sodium (bouillon de Rothe) simple et double concentration.

○ **Pour Ensemencement** : On utilise:

-1flacon contenant 50ml de bouillon de Rothe double concentration avec 50ml d'eau à analyser.

-5tubes de 10ml de bouillon de Rothe double concentration avec 10 ml d'eau.

- 5tubes de 10ml de bouillon de Rothe simple concentration avec 1ml d'eau.

- Bien mélanger le milieu et l'inoculum (figure 09).

○ **Incubation**

L'incubation se fait pendant 48h à 37°C.

○ **Lecture**

Les tubes présentant à la fois :

Un trouble microbien accompagné d'un virage du milieu est considéré comme susceptibles de contenir un streptocoque fécal \Rightarrow Positif.

➤ Test confirmatif

À partir des tubes de Rothe positifs on effectue des repiquages :

- Prélever de chaque tube positif quelques gouttes à l'aide d'une pipette Pasteur et les placer dans des tubes contenant le milieu Eva - Litsky.

- Bien mélanger le milieu et l'inoculum.

○ **Incubation**

L'incubation se fait cette fois-ci à 37°C pendant 24 heures.

○ **Lecture**

MATERIEL ET METHODES

Les tubes présentant d'un part un trouble microbien et d'une autre part une pastille violette (blanchâtre) dans le fond sont considérés comme positifs (+).

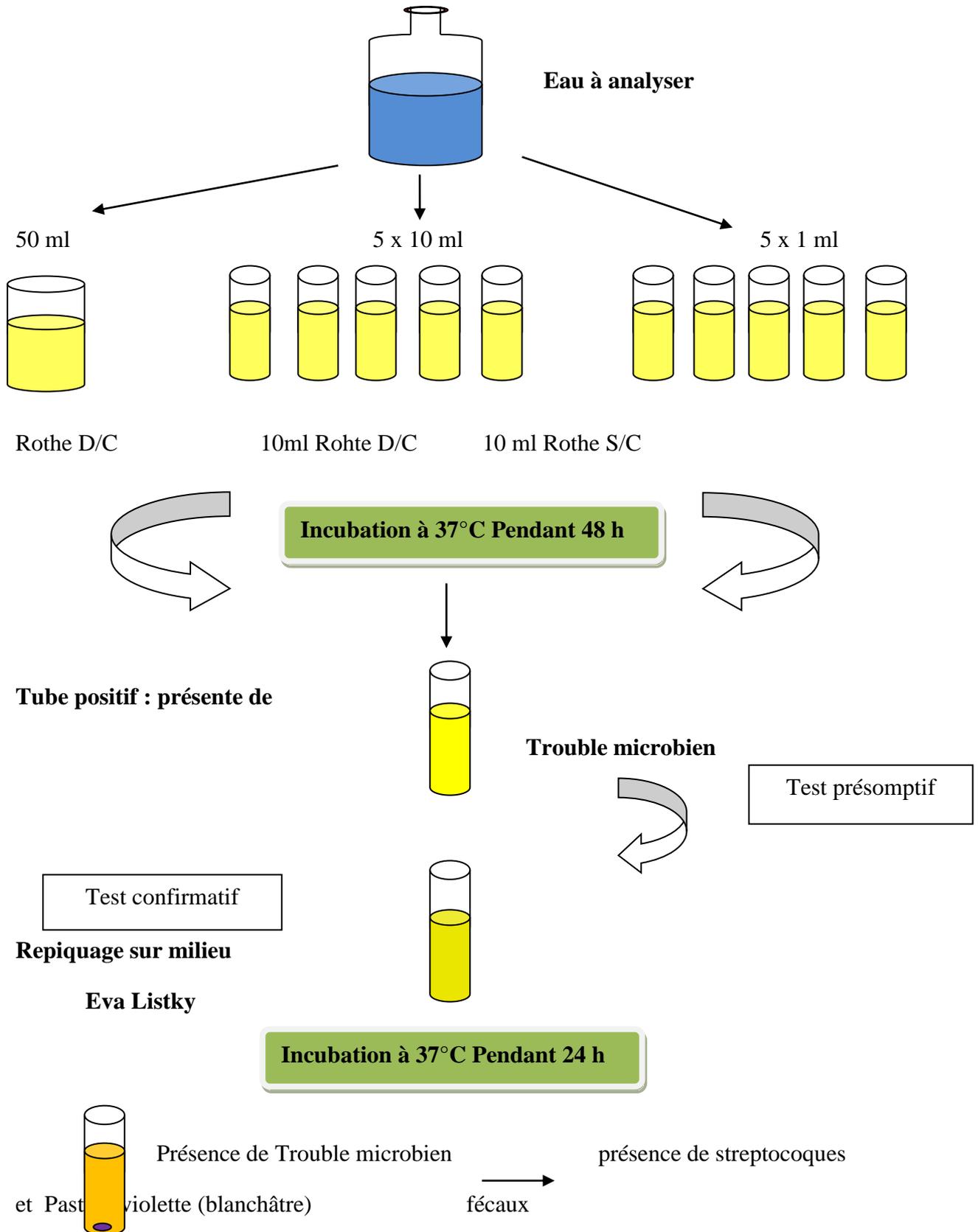


Figure 09. Recherche et dénombrement de streptocoques fécaux

I.8. Rendements d'épuration

Les performances sont exprimées en terme de rendement sur quelque paramètres physico-chimiques. Ce descripteur traduit le taux de réduction de la concentration en micropolluants entre l'entrée et la sortie de la station (**CHOUBERT *etal.*, 2011**).

Chaque rendement est calculé à l'aide de la formule suivant :

$$R = \frac{\text{la concentration en amont} - \text{la concentration en aval}}{\text{la concentration en amont}} \times 100$$

CHAPITRE 2

RÉSULTATS ET DISCUSSION

II. Résultats et discussion

Les résultats des différentes analyses des paramètres physicochimiques et bactériologiques obtenus durant cette étude rétrospective préliminaire nous ont permis d'évaluer la performance du traitement appliqué dans la station de BENCHAABANE située à Boufarik. Ces résultats ont été comparés aux normes de rejet des eaux usées recommandées par l'OMS (2006), le JORA (2006, 2012, 2013) (Voir Tableau II et III *cf. normes de rejet*).

II.1. Résultats et discussion des paramètres physico-chimiques

II.1.1. Température

Durant cette étude, les résultats obtenus (figure 10) montrent que les valeurs de la température des six prélèvements sont très voisines. A l'entrée, les valeurs de la température des eaux brutes sont comprises entre un minimum de 17°C et maximum de 18 °C. A la sortie de la STEP, les valeurs des eaux épurées sont comprises entre un minimum de 15°C et un maximum de 20°C, avec $18,16 \pm 0,5$ °C comme valeur moyenne.

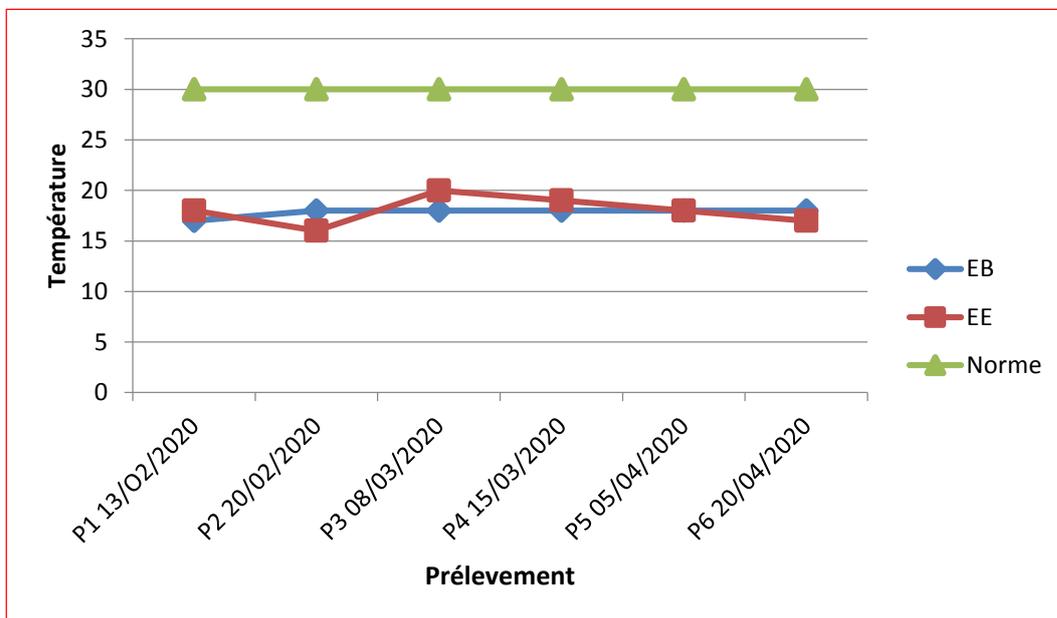


Figure 10. Variation de la température

La température est un facteur écologique important des milieux aqueux, qui agit sur la densité, la viscosité, la solubilité des gaz dans l'eau, la dissociation des sels dissouts, le développement et la croissance des organismes vivants dans l'eau et particulièrement les micro-organismes (MAKHOUKH, 2011).

Ces différentes valeurs enregistrées sont forcément liées aux conditions climatiques et à la température de la saison et restent acceptables car elles sont en dessous de la norme fixée 30°C par le **JORA** et l'**OMS (2006)**.

II.1.2. pH

La figure 11 représente les valeurs du pH obtenues durant cette étude. A l'entrée, les valeurs du pH des échantillons d'eau prélevée varient entre un minimum de 7 et un maximum de 8 avec $7,46 \pm 0,11$ comme valeur moyenne. A la sortie, les valeurs des eaux épurées sont comprises entre un minimum de 7,18 et un maximum de 8 avec $7,49 \pm 0,17$ comme valeur moyenne.

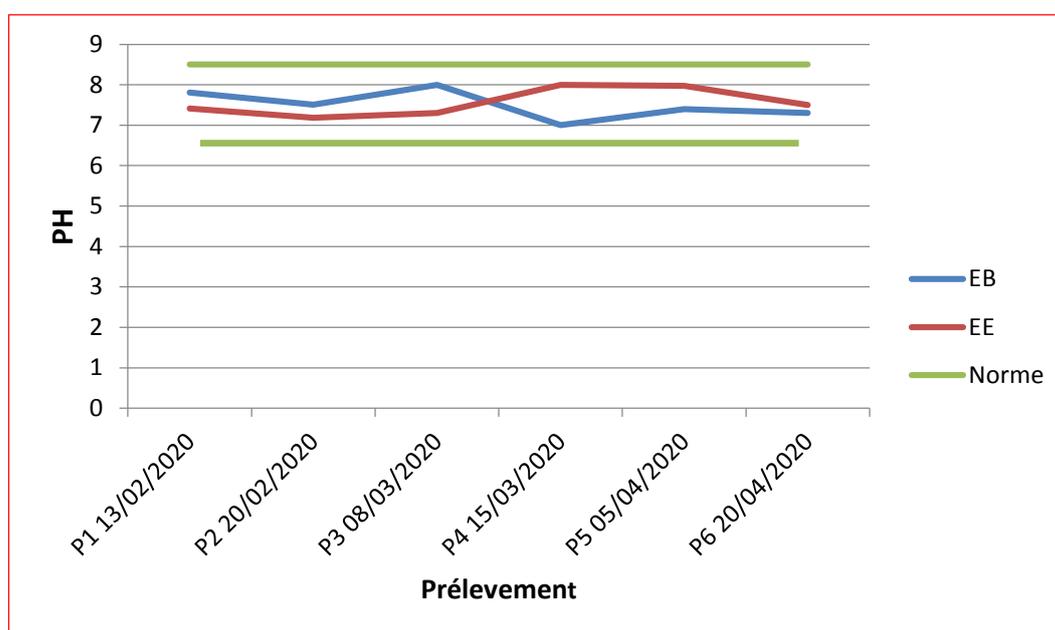


Figure 11. Variation du pH

Toutes ces valeurs sont proches de celles des normes algériennes de la qualité des eaux destinées à l'irrigation (**FAO, 2003**). Elles sont généralement comprises entre 6,5 et 8,5 et sont considérées comme valeurs limites de rejets directs dans le milieu récepteur (**JORA, 2006**).

Le pH influence la plupart des mécanismes chimiques et biologiques dans les eaux. Ce paramètre est un élément important pour l'interprétation de la corrosion dans les canalisations des installations de l'épuration (**EDDABERA, 2011**).

Selon **REJSEK (2002)**, les faibles variations dans les valeurs du pH entre l'eau usée brute et l'eau usée épurée sont dues à une forte incidence écologique sur les organismes aquatiques et

les réactions chimiques et/ou biologiques qui produisent des ions basiques et entraînent une basification de milieu.

II.1.3. Conductivité électrique

La figure 12 représente les différentes valeurs de la conductivité de l'eau en amont et en aval de la station, elles sont comprises entre 789 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 1656 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour les eaux brutes et entre 949 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 1341 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour les eaux épurées.

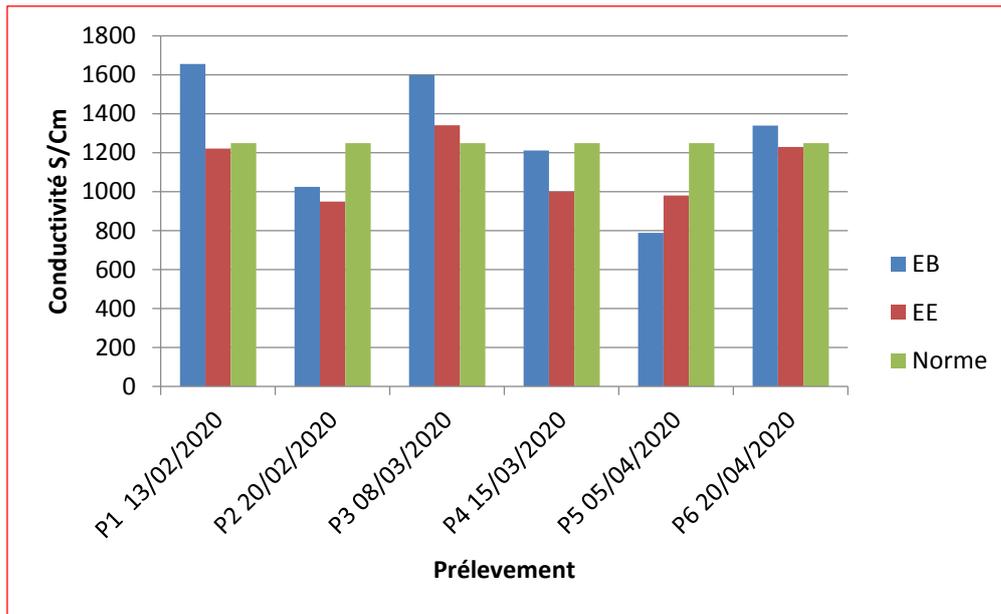


Figure 12. Variation de la Conductivité électrique

Ces valeurs sont conformes aux normes des eaux destinées à l'irrigation ($>3000\mu\text{S}/\text{cm}$), et sont représentatives en comparant avec la norme d'OMS 2006 ($1250\mu\text{S}/\text{cm}$).

Selon **SALGHI (2007)**, la conductivité électrique d'une eau usée dépend essentiellement de la polarité de l'eau potable utilisée, des microorganismes et des activités industrielles.

La conductivité électrique est probablement l'un des paramètres les plus importants pour le contrôle de la qualité des eaux usées. Elle traduit le degré de minéralisation globale et renseigne sur le taux de salinité (**EDDABERA, 2011**).

II.1.4. Oxygène dissous

D'après les résultats obtenus durant notre étude (figure 13), à l'entrée de la STEP, les valeurs enregistrées varient entre 1,4 mg/l et 5,43 mg/l avec une moyenne de 2,71 mg/l par contre à la sortie de la STEP, les valeurs sont comprises entre 1,24 mg/l et 6,7 mg/l avec une moyenne de 5,31 mg/l.

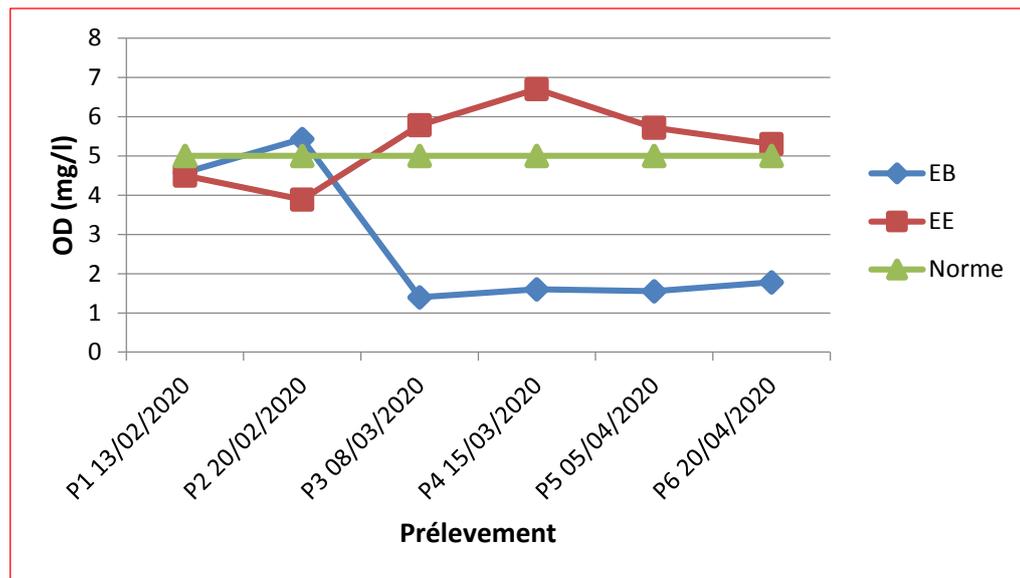


Figure 13. Variation de concentration d'oxygène dissous

Les valeurs enregistrées à la sortie de la STEP sont supérieures à celles de l'entrée et sont majoritairement conforme aux norme de l'OMS (5 mg/l), ceci est probablement dû à une bonne aération des eaux au niveau des bassin d'aération nécessaire pour le développement des micro-organismes qui assure l'oxydation de la matière organique, ce qui conduit à une bonne épuration des eaux usée.

Selon **MAKHOUKH et al., (2011)**, l'oxygène dissous (OD) est indispensable pour la dégradation de substances polluantes en absence d'oxygène.

II.1.5. Matières en suspension

A l'entrée de la station les teneurs en MES sont élevées. Les valeurs sont comprises entre 68 mg/l et 437 mg/l (figure 14). Selon **BAUMONT (2005)**, la présence de ces matières en suspension dans les différents rejets gêne considérablement l'efficacité des traitements destinés à éliminer les germes photogènes.

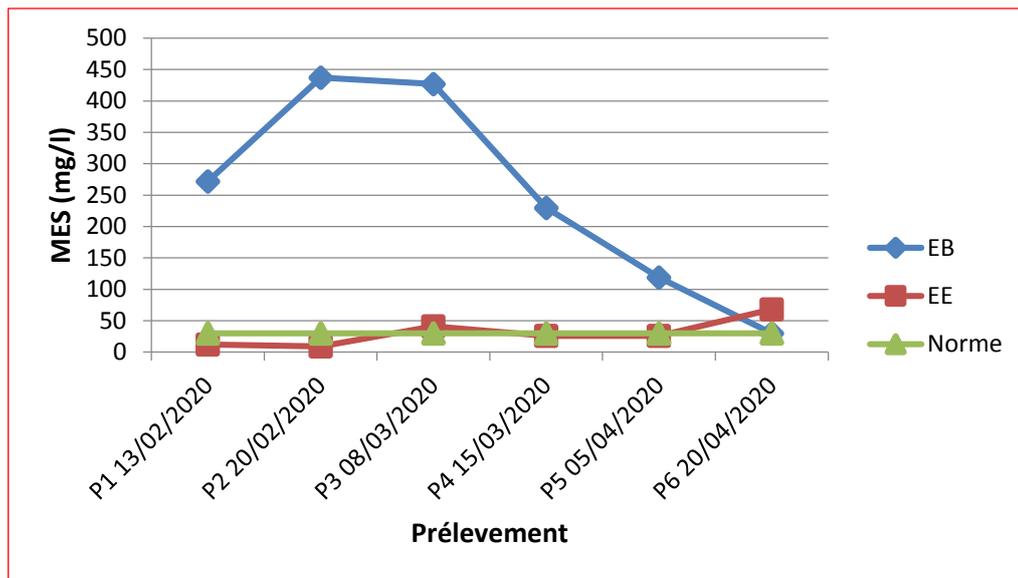


Figure 14. Variation des MES

Après épuration des eaux brutes, la majorité de MES sont éliminées et les valeurs enregistrées varient entre 5mg/l et 41 mg/l (figure 14). Les résultats sont globalement conformes aux normes d'OMS (30 mg/l) et ceux du JORA (35 mg/l). Cette diminution de MES dans les eaux épurées est due à l'élimination des sables qui sont présents dans les effluents bruts par l'opération de dessablage qui élimine les particules minérales de granulométrie supérieure à 100 µm et par floculation biologique dans les clarificateurs.

Selon **GROSCLAUDE (1999)**, les matières en suspension représentent des impuretés non dissoutes dans l'eau. Elles ont souvent une teneur en matière organique importante et une densité légèrement supérieure à celle de l'eau. Elles sont en majeure partie de nature biodégradable. (**FAO, 2003**).

✚ Rendement d'élimination des MES

Le taux d'élimination de MES après traitement est illustré par la figure 15. Il est de l'ordre de 90,63%. Ce taux est supérieur à celui de REJESK 2002 (> 90%), ce qui signifie une épuration efficace.

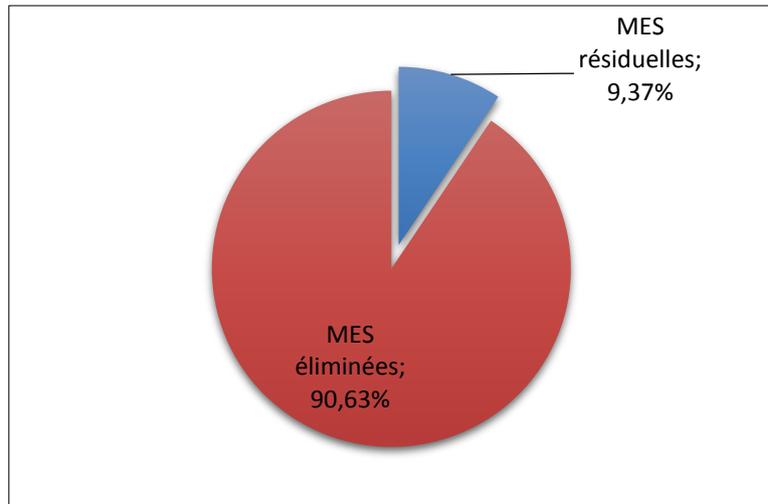


Figure 15. Rendement d'abattement des MES

II.1.6. Paramètres de la pollution organique

II.1.6.1. Demande chimique en oxygène (DCO)

La figure 16 représente les résultats obtenus de la DCO des échantillons des eaux analysées. Les concentrations enregistrées dans cette étude varient entre 200 mg/l et 805 mg/l avec une moyenne de 491,75 mg/l pour les eaux brutes.

A la sortie de la STEP, les valeurs marquées sont comprises entre 54 mg/l et 69,4 mg/l avec une moyenne de 61,63 mg/l.

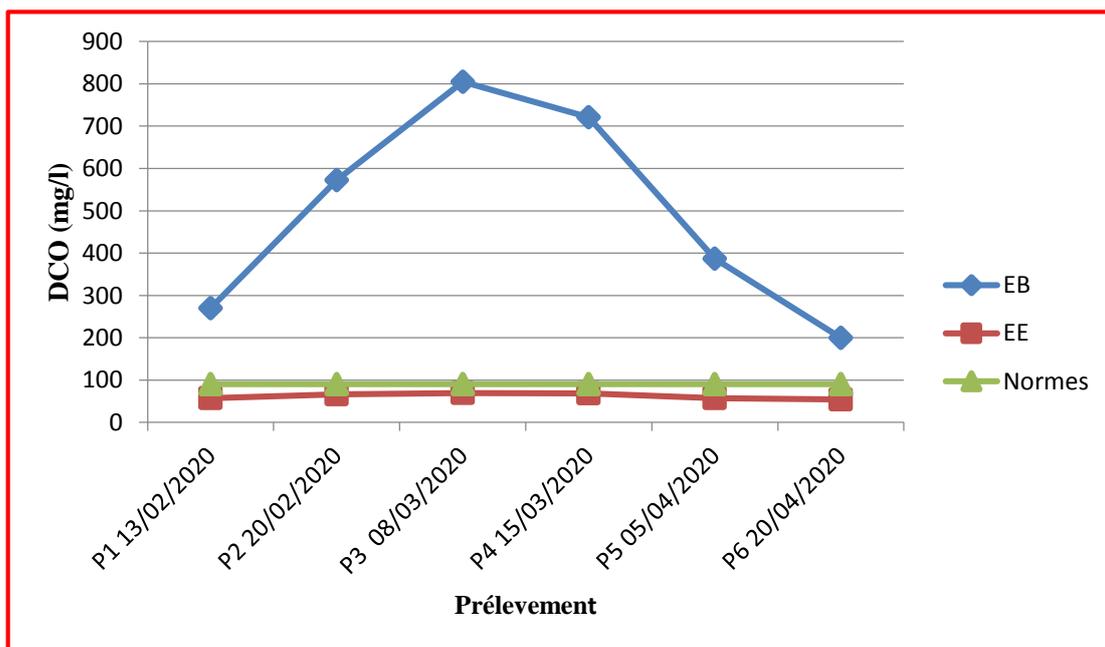


Figure 16. Variation des valeurs de la DCO

Ces valeurs sont conformes aux normes de l'OMS et du JORA (<90 mg), mais elles sont supérieures à celles des eaux destinées à l'irrigation (<40 mg). La DCO correspond à la quantité d'oxygène qui a été consommée par voie chimique pour oxyder l'ensemble des matières oxydables présentes dans l'eau. La DCO est particulièrement indiquée pour mesurer la pollution d'un effluent industriel (**RODIER et al., 2005**).

✚ Rendement d'élimination de la DCO

Le rendement épuratoire de la DCO (figure 17) est satisfaisant (88.47%) en comparant à celui trouvé par **REJESK (2002)** (90%), qui caractérise une épuration efficace cela est dû à une bonne aération dans les bassins biologiques.

Cependant ce taux d'abattement est intéressant (> 80%), une grande concentration a été éliminer car il y'a une dégradation importante de la pollution.

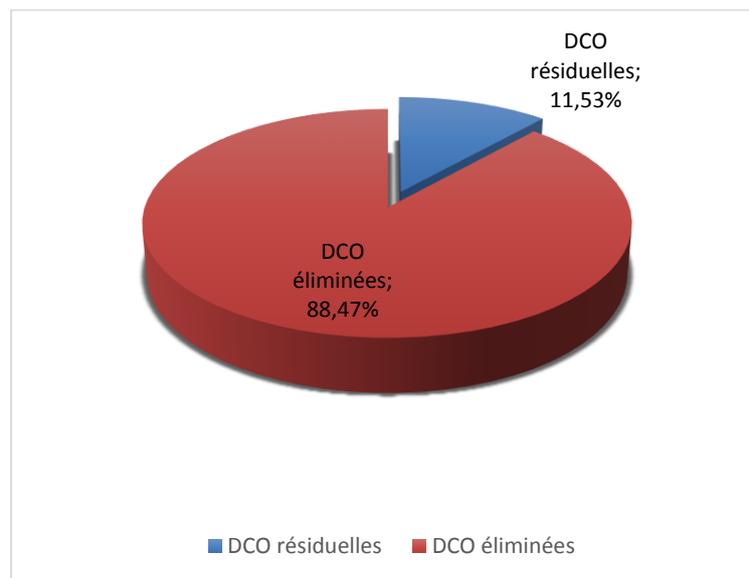


Figure 17. Rendement d'abattement de la DCO

II.1.6.2. Demande biologique en oxygène (DBO₅)

La mesure de la demande biochimique en oxygène permet d'évaluer le contenu d'une eau en matières organiques biodégradables, donc son degré de pollution et sa qualité (**CHAOUKI et al., 2013**).

La détermination de la DBO₅ a donc pour but d'évaluer cette nuisance et d'en estimer les effets (**FRANCK, 2002**).

Les valeurs de la DBO₅ des effluents à l'entrée de la STEP varient entre 120 mg/l et 374 mg/l avec une moyenne de 272,5 mg/l et celles obtenues à la sortie varient entre 9 mg/l et 18 mg/l avec une moyenne de 12 mg/l (figure 18).

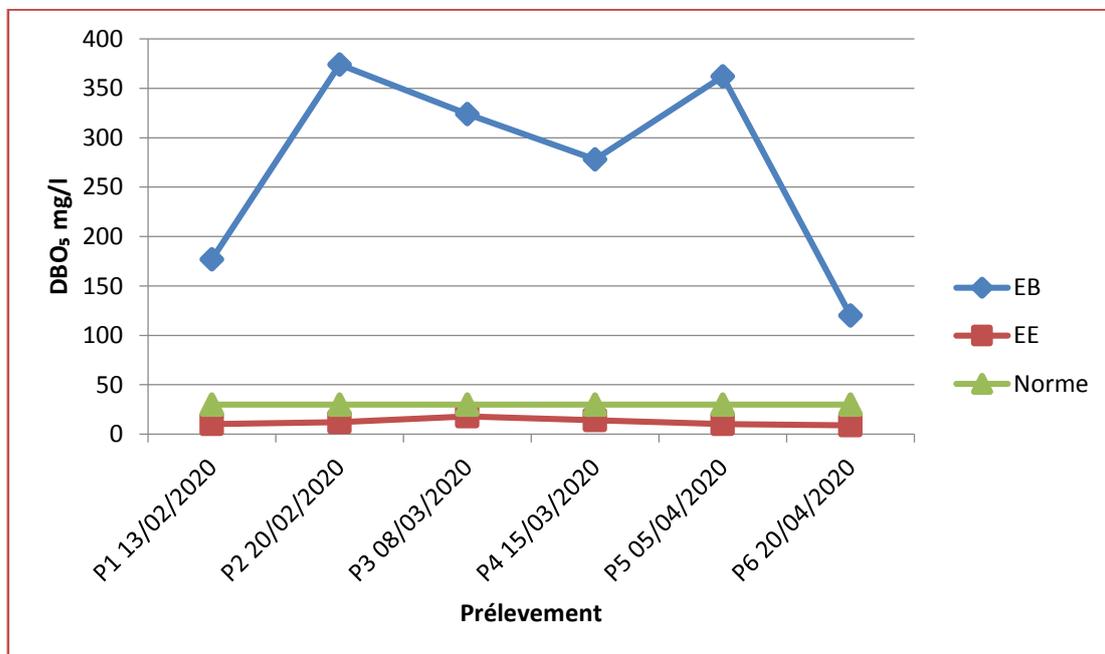


Figure 18. Variation de la DBO₅

Ces résultats sont conformes aux normes autorisées pour les rejets d'effluents industriels liquides 35 mg/l (**JORA, 2006**). Cette diminution de la DBO₅ s'explique probablement par le passage des effluents dans le déssableur qui sert à éliminer une quantité considérable de la DBO₅ (pourcentage des matières organiques et minérales et par la suite une quantité importante de la DBO₅ est éliminée dans les bassins biologiques).

Selon **CARDOT (1999)**, cette réduction est due à l'activité des microorganismes épurateurs qui assurent la dégradation et la transformation de la matière organique (CO₂, H₂O et NH₃) permettant ainsi la dégradation de la pollution organique.

✚ Rendement d'élimination de DBO₅

D'après la figure 19, nous constatons que le rendement épuratoire de la DBO₅ est plus que satisfaisant avec un taux de 95,04 mg/l. Ce résultat est supérieur à celui trouvé par **REJESK (2002)** (90%).

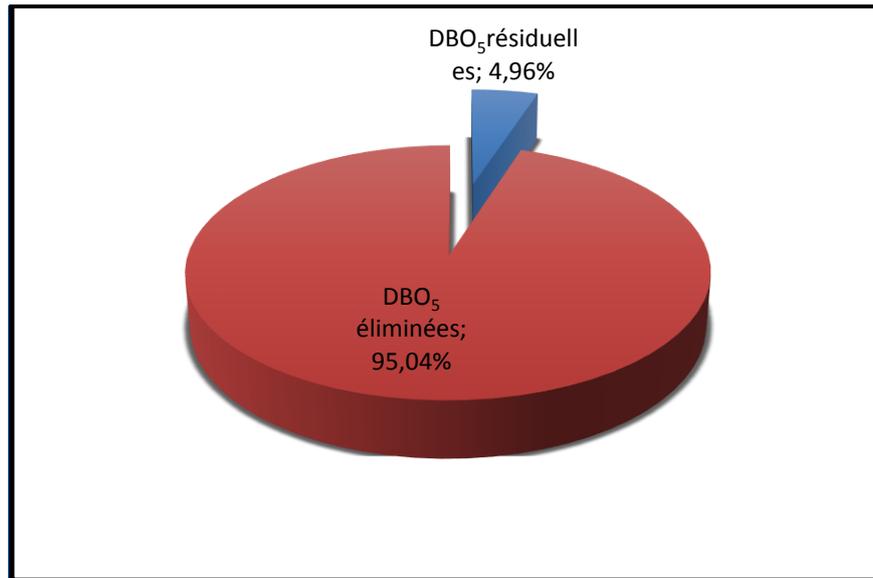


Figure 19. Rendement d'élimination de la DBO₅

- **Biodégradabilité (k)**

L'estimation du coefficient de biodégradabilité (k) est très importante pour la recherche de la qualité de l'effluent. Il correspond au rapport entre la demande chimique en oxygène et la demande biologique pour déterminer s'il y a des composants qui influence la dégradation des matières organiques.

$$K = DCO / DBO_5$$

Les valeurs obtenues durant cette étude varient entre 1,16 et 2,59 et sont présentées dans le tableau VIII.

Tableau VIII. Variation du rapport DCO/ DBO₅

Prélèvement	Rapport DCO/DBO ₅
P ₁ (13-02-2020)	1,53
P ₂ (20-02-2020)	1,53
P ₃ (08-03-2020)	2,48
P ₄ (15-03-2020)	2,59
P ₅ (05-04-2020)	1,16
P ₆ (12-04-2020)	1,67

Le rapport entre DCO et DBO₅ est souvent très différent de celui des eaux résiduaires urbaines (ERU). Il évolue en divers stades du traitement. La valeur de la DCO est toujours plus élevée que celle de la DBO₅ (**GROSCLAUDE, 1999**).

Le rapport DCO/DBO₅ est l'indice de la biodégradabilité d'une eau (**KOLLER, 2009**). Pour qu'une pollution soit dégradable le rapport doit être inférieur à 2,5 (**BORDET, 2007 ; RODIER *et al.*, 2009**) ;

Pour les effluents industriels, qui peuvent contenir une fraction notable de composés non biodégradable, on pourra considérer selon le rapport DCO/DBO₅ que l'aptitude à la biodégradation est plus au moins favorable à un traitement biologique, les règles suivantes étant généralement retenues (**RODIER *et al.*, 2009**) :

- ✓ DCO/DBO₅ < 3 effluent facilement biodégradable.
- ✓ 3 < DCO/DBO₅ < 5 effluent moyennement biodégradable.
- ✓ DCO/DBO₅ > 5 effluent difficilement biodégradable.

Dans cette étude, toutes les valeurs enregistrées sont inférieures à 3 ce qui signifie que l'effluent est facilement biodégradable et confirme que les eaux usées traitées au niveau de la STEP sont d'origine domestique (**RODIER *et al.*, 2009**).

II.1.7. Paramètres de la pollution phosphorée

La grande partie du phosphore organique provient des détergents, des déchets du métabolisme des protéines et de son élimination sous forme de phosphates dans les urines par l'homme (**N'DIAYE *et al.*, 2011**).

Le tableau IX représente les résultats du phosphate total obtenus dans cette étude. Les valeurs sont comprises entre 10,7 mg/l et 17,7 mg/l à l'entrée et entre 2,04 mg/l et 4,89 mg/l à la sortie de la STEP.

Tableau IX. Résultats du dosage du phosphate total

Paramètres	Pt		Taux de réduction
	mg/l		(%)
Prélèvements	EB	EE	/
P1	9,5	2,4	74,73
P2	10,15	2,56	74,77
P3	17,7	4	77,4
P4	15,1	4,89	67,61
P5	10,7	2,04	80,93
P6	11,45	3,1	72,92
Moyenne	12,43	3,16	-

Ces valeurs sont élevées et dépassent les normes algériennes et internationales des rejets (< 2 mg/l) et celles des eaux d'irrigation (< 0.94 mg/l) (OMS, 1989). Cependant au niveau de la STEP de Ben-chaabane, les concentrations en amont sont trop élevées et sont dues essentiellement au phénomène d'eutrophisation qui est suivi par une prolifération algale importante (DEGREMENT, 2005), de ce fait un traitement de phosphorisation qui est un traitement physico-chimique permettant la précipitation des phosphates ou bien un traitement biologique en tête de la STEP est nécessaire afin de limiter ce phénomène et garder l'équilibre de l'écosystème (REJESK, 2002).

II.1.8. Paramètres de la pollution azotée

➤ Ammonium (NH_4^+)

D'après les résultats obtenus (figure 20), les valeurs de l'azote ammoniacal varient à l'entrée de la STERP entre 39 mg/l et 65 mg/l avec une valeur moyenne de 53,5 mg/l.

A la sortie de la STEP, les valeurs sont comprises entre 10 mg/l et 49 mg/l avec une valeur moyenne de 21,66 mg/l. Ces valeurs ne sont pas conformes à la norme de l'OMS qui est 1 mg/ (voir le Tableau en annexe).

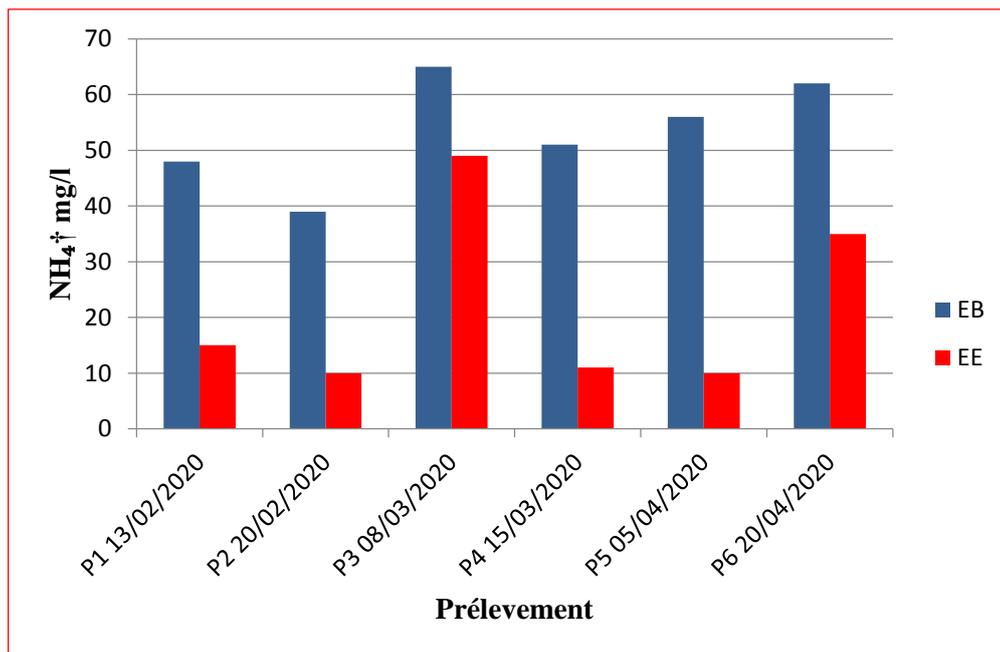


Figure 20. Variation des valeurs de NH_4^+ de l'eau à l'entrée et à la sortie de la STEP

L'ammonium est la forme d'azote la plus toxique. Sa présence dans l'eau est liée soit aux rejets urbains et industriels, soit à la réduction des formes azotées (nitrates et nitrites) en conditions réduites (**DEBIECHE, 2002**).

D'après **NISBET et VERNAUX (1970)**, l'azote ammoniacal rencontré dans les eaux usées et dont la présence est anormale traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique lorsque la teneur en oxygène est insuffisante pour assurer sa transformation. Cela explique l'élévation des teneurs en NH_4^+ de l'eau usée avant le traitement.

➤ Azote total

Les teneurs en azote total des différents échantillons sont représentés par le Tableau X.

Tableau X. Résultats du dosage de l'azote total (Nt)

Prélèvements	Nt		Taux de réduction
	EB	EE	%
P1 13/02/2020	150	24	70
P2 20/02/2020	98	18	81,63
P3 08 /03/2020	59	2	96,66
P4 15 /03/2020	59	2	96,66
P5 05/04/2020	59	22	62,71
P6 12/04/2020	45	20	55,55
Moyenne	78,33	14,66	81,28

D'après le Tableau XI, les valeurs de l'azote total à l'entrée de STEP sont comprises entre un minimum de 45mg/l et un maximum de 150 mg/l avec une valeur moyenne de 78,33 mg/l, alors qu'à la sortie, les valeurs oscillent entre 2 et 24 mg/l avec une valeur moyenne de 14,66 mg/l et un taux de réduction moyen de 81,28% .Les valeurs de l'eau traitée sont inférieures à 50mg/l et par conséquent ils répondent aux normes (**OMS, 2006**).

Ces résultats peuvent être expliqués par la capacité du traitement à boue activées à la réduction des composés azotés. Cette élimination de l'azote se réalise en deux phases successives qui sont la nitrification et la dénitrification.

➤ Nitrites (NO₂⁻)

La figure 21 représente la variation des concentrations des nitrites dans les échantillons des eaux usées prélevées. A l'entrée de la STEP, nous avons constaté que les concentrations en nitrites sont très faibles, elles varient entre 0,09 et 0,73 mg/l avec une moyenne de 0,25 mg/l. A

la sortie, les concentrations sont comprises entre 0,01 et 0,53 mg/l avec 0,14 mg/l comme valeur moyenne.

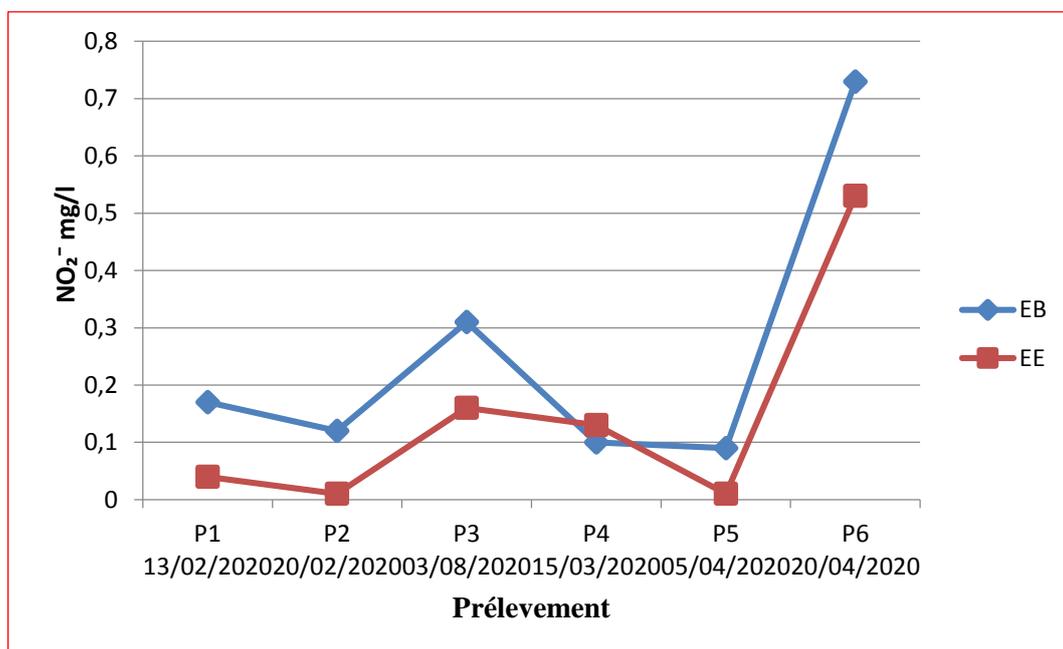


Figure 21. Variation de la concentration des nitrites en fonction des étapes de traitement

Selon **CHOUBERT (2002)**, les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammonium ou la nitrification n'est pas conduite à son terme soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiant.

Une valeur de 0,53 mg/l a été enregistrée pour le dernier prélèvement (Figure 21) ceci est probablement liée à la température relativement élevée au mois d'Avril. Selon **SANZ et al., (1996)**, il existe des changements de l'activité de la biomasse autotrophe nitrifiante sous l'effet des variations de la température, ce qui influence le taux de nitrification.

➤ Nitrates (NO₃⁻)

D'après les résultats obtenus (figure 22), nous avons observé que les valeurs des nitrates obtenues après analyses, varient entre 0,9 mg/l et 6,8 mg/l à l'entrée et entre 1 mg/l et 6,15 mg/l à la sortie de STEP.

Nous constatons que les taux de nitrates ont augmenté au niveau des eaux épurées par rapport aux eaux brutes. Cette augmentation peut être expliquée par le métabolisme des

composés azotés, transformation de l'ammoniaque en nitrates (BENGOUMI et al.,2004; KHALID et al., 2011; YAZID, 2014).

Selon METAHRI (2012), Les nitrates ne sont pas toxiques, mais les teneurs élevées en nitrates provoquent une prolifération algale qui contribué à l'eutrophisation de milieu.

Cependant,les teneurs enregistréesdans les eaux usées traitées ne dépassent pas la norme fixée par l'OMS pour l'utilisation des eaux usées en irrigation.

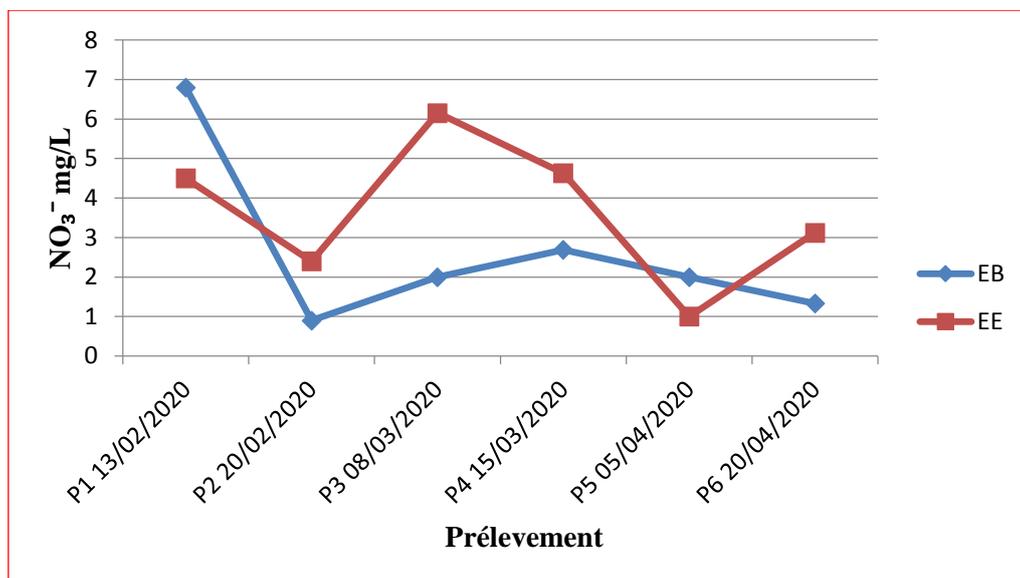


Figure 22. Variation de la concentration des nitrates en fonction des étapes de traitement

II.2.Paramètres Bactériologiques

Concernant les paramètres bactériologiques, les résultats du dénombrement obtenus durant la période d'étude montre que les concentrations en CT, CF et SF enregistrées dans l'échantillon d'eau sont très importantes et différent entre l'entrée et la sortie de la STEP. Les résultats sont mentionnés dans le Tableau ci-dessous.

Tableau XI. Résultats de dénombrement des principaux paramètres bactériologiques

	CT	CF	SF
Eau brute	240×10^5	92.10^5	240×10^5
Eau épurée	54×10^4	28×10^4	28×10^4

CONCLUSION

CONCLUSION

Cette étude a permis en premier lieu d'évaluer pour la première fois la performance de la station d'épuration de Benchaabane en terme d'abattement des différents paramètres physico-chimiques.

Les résultats physico-chimiques et bactériologiques montrent que les eaux usées brutes entrant à la STEP présentent une pollution organique et azotée importante. Elles véhiculent également d'importantes charges bactériennes témoin de contamination fécale.

La diminution significative des teneurs des paramètres étudiés DCO, DBO₅, MES, NO₂⁻, NH₄⁺ et PO₄⁻³ résulte du traitement d'épuration appliqué notamment au niveau du bassin d'aération où il y a une dégradation de la matière organique par les microorganismes à l'exception des nitrates dont l'augmentation pourrait être expliquée par l'oxydation bactérienne de l'ammonium. On peut conclure qu'après traitement, la STEP de Benchaabane permet une bonne élimination de la DCO (88,47%), de la DBO₅ (95,04%), de MES (90,63%) et de la pollution azotée (81,28%).

Les résultats microbiologiques ont montré que les eaux usées brutes de la STEP sont plus fortement chargées en bactéries indicatrices de contamination fécale (CT, CF, SF) que les eaux épurées.

Le coefficient de biodégradabilité des effluents montre que les eaux étudiées sont purement domestiques et sont donc facilement biodégradables par un traitement de type boues activées (traitement biologique),

Ces résultats permettent de conclure que le traitement utilisé dans la STEP de BEN-CHAABANE est suffisant pour permettre de réduire les concentrations en polluants organiques, azotés et donc d'atténuer le risque sanitaire à un niveau acceptable.

La protection de ces eaux contre les contaminations diverses est nécessaire et impérative pour que ces eaux servent encore en agriculture ainsi qu'à la sauvegarde de nos côtes sans risque de contamination.

REFERENCESBIBLIOGRAPH
IQUE

Références Bibliographique

- ❖ **ASANO, T., BURTON, F., LEVERRENZ, H., TSUCHIHASHI, R., TCHOBANOGLOUS, G. 2007.** Water reuse: issues, technologies, and applications. New York (US): Metcalf & Eddy
- ❖ **AUSSEL, H., LE BACL, C., DORNIER, G., (2004).** Le traitement des eaux usées, institut national de recherche et de la sécurité (INRS), point des connaissances, **édition 5026**, pp1-3.
- ❖ **BASSOMPIERRE, C., (2007).** Procédés à boues activées pour le traitement d'effluents papetiers :De la conception d'un pilote à la validation de modèles, préparée au laboratoire d'Automatique de Grenoble et au pilote à la validation de modèles, préparée au laboratoire de Génie des procédés papetiers, 230p.
- ❖ **BELAID N. (2010).** Evaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d'El Hajeb-Sfax: salinisation, accumulation et phytoabsorption des éléments métalliques, thèse de doctorat, Université de Limoges, 1- 39p.
- ❖ **BELHAMADI M. (2011).** Etude de la biodégradation du 2,4-dichlorophénicol par le macrobiote des effluents d'entrée et de sortie de la station d'épuration des eaux usées d'Ibn Ziad. Mémoire de Magister en Microbiologie appliquée et biotechnologies microbiennes. Université Mentouri-Constantine, Algérie, p : 16.
- ❖ **BENGOUMI, M., TRAOURE, A., BOUHRITI, N., BENGOUMI D. ET HRAIKI A. 2004.**Qualité de l'eau, en agriculture. Revue trimestrielle d'information scientifique et technique 3(1), 5-25.
- ❖ **BENKADDOUR, B. 2018.**Contribution à l'étude de la contamination des eaux et des sédiments de l'Oued Cheliff (Algérie), thèse en co-tutelle, de l'université de PERPIGNAN VIA DOMITIA et de université de Mostaganem Préparée au sein de l'école doctorale ED305 ,18p.
- ❖ **BIXIO D., DE HEYDER B., CHIKUREL H., MUSTON M., MISKA V., JOKSIMOVIC D., SCHÄFER A.I.,RAVAZZINI A., AHARONI A., SAVIC D. AND THOEYE C. (2005).** Municipal wastewater reclamation: where do we stand? An overview of treatment technology and managementpractice. *Water. Science. Technology*, 5(1) 77–85.
- ❖ **BIXIO D., THOEYE C., WINTGENS T., RAVAZZINI A., MISKA V., MUSTON M., CHIKUREL H.,AHARONI A., JOKSIMOVIC D. AND MELIN T. (2008).**

Water reclamation and reuse implementation and management issues. *Desalination*, 218, 13–23.

- ❖ **BLOCK, JC. 1982.** Elimination des microorganismes au cours du traitement des eaux usées urbaines, point sur l'épuration et le traitement des effluents (eau-air). Tome 1. coordonné par Guy M. Paris. Lavoisier Technique et Documentation. 214p.
- ❖ **BOEGLIN J. 2007.** Article pollution industrielle de l'eau : caractérisation, classification, mesure 44p.
- ❖ **BYAPPANAHALLI, M. N., NEVERS, M. B., KORAJKIC, A., STALY, Z. R., HARWOOD, V. J. 2012.** Enterococci in the Environment. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 76(4), 685–706

- ❖ **CEAEQ. 2011.** Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec : Recherche des salmonelles : méthode présence /absence, Québec .25p.
- ❖ **CHEVALIER, P. 2002.** Entérocoques et streptocoques fécaux. Fiche synthèses sur l'eau potable et la santé humaine. Groupe scientifique sur l'eau, Institut national de santé publique du Québec, 5p.
Chichester, John Wiley, Dacey, A. 215p
- ❖ **CHOUBERT, J-M. 2002.** Analyse et optimisation du traitement de l'azote par les boues activées à basse température. Thèse de Doctorat. Université Louis Pasteur-Strasbourg. pp 29-32.
- ❖ **CHOUBERT. J-M, MARTIN- RUEL. S, BUDZINSKI. H, MIEGE. C, ESPERANZA. M, SOULIER. C, LAGARRIGUE. C et COQUERY. M. 2011.** Evaluer les rendements des stations d'épuration, apports méthodologique et résultats pour les micropolluants en filières conventionnelles et avancées. Extrait numérique de *Technique Sciences Méthodes* n°1/2 de 2011.

- ❖ **DAHOU ABDERAHIM, BREK ADEM, 2013,** Lagunage aéré en zone aride performance épuratoires cas de (region d'Ouargla), Mémoire master académique domaine : sciences et techniques filière : génie des procédés spécialité : génie de l'environnement.
- ❖ **DEBIECHE, T. H. 2002.** Évolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Thèse de doctorat, Université de Constantine, 235p.
- ❖ **DEGREMENT M., 2005.** *Technique de l'eau*. 10^e édition. Edition degrémont. 813p.
- ❖ **DEGREMENT. 1989.** *Memento Technique De L'eau*, Tome 1, 9^{ème} Édition. developing countries. Ed. Oxfoam and the Ross Institute of Tropical Hygiene,
- ❖ **DHAOUADI HATEM, 2008,** *Traitement des eaux usées urbaines : Les procédés biologiques d'épuration*, Université Virtuelle de Tunis.

- ❖ **DIBENEDETTO, M.1997.**Méthodes spectrométrique d'analyse et de caractérisation dossier, centre de spin, Ecole des mines de Saint–Etienne, France.
- ❖ **DJAFER, A. 2014.** «Epurations biologiques des eaux usées. Etude statique et dynamique». Thèse de Doctorat en sciences, Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem.
- ❖ **DUGNIOLLE, H. 1980.** L'assainissement des eaux résiduaires domestiques, CSTC –
- ❖ **EDDABRA , R. 2011.** Evaluation de la contamination bactériologique des eaux usées des stations d'épuration du grand Agadir : isolement, caractérisation moléculaire et antibioresistance des espèces du genre vibrio, thèse en co-tutelle, de l'université ibn zohr faculté des sciences d'Agadir et de l'université de Strasbourg Ecole doctorale science de la vie et de la sante, 146p Editions dunod. 997p.
- ❖ **ELMUND G.K., M.J. ALLEN and E.W. RICE. 1999.** Comparison of Escherichia coli, total coliform and fecal coliform populations as indicators of wastewater treatment efficiency. *Water Environ Res.* 71: 332-339.
- ❖ **EMMANUEL, E., K. THELEY, M. MOMPOINT, J.M. BLANCHARD and Y. PERRODIN.2004.**Evaluation des dangers environnementaux liés au rejet des eaux usées urbaines dans la Baie de Port-au-Prince en Haïti Submitted: Livre « Eau et Environnement » du Réseau « Droit de l'Environnement » de l'Agence Universitaire de la francophonie (AUF). Port-au-Prince, 15 p
- ❖ **F. Meinck, H. Stooff, H. Kohlschutter.1977.** Les Eaux Résiduaires Industrielles, Edité
- ❖ **FAO, (2003).**L'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation. pp 73.
- ❖ **FIGARELLA, J., LEYRAL, G., TERRET, M. 2001.** Microbiologie Générale et Appliquée. 3^{ème} édition. Jacques Lanore.p. 285.
- ❖ **GLANIC R et BENNETON J-P, 1989.** Caractérisation d'effluent d'assainissement individuel et essais de matériels d'assainissement autonome – TSM-L'eau -84 année - N 11 – pp. 573-584
- ❖ **GROSCLAUDE, G. 1999.**L'eau: usage et polluant. Volume 1. Tome:2. Paris:INRA. 177p
- ❖ **GUY ATLAN .M, 2003,** Les boues d'épuration et leurs perspectives de gestion en Île-de-France au nom de la commission Agriculture, environnement, Ruralité. Régionale de France, conseil économique et social.

- ❖ **HAMADACHE, N., SELLAMI, A.2007.**Contribution à l'évaluation de la contamination des eaux souterraines et du sol par les hydrocarbures liés à l'activité transport par canalisation-localité de chéraba-Eucalyptus. Mémoire d'ING.Ecologie: USTHB, Bab ezzouar, Alger.57p
- ❖ **HASLAY, C.et LECLERC, H. 1993.**Microbiologie des eaux d'alimentation. Paris. Ed. Lavoisier Technique et Documentation. 495p
- ❖ **HAYZOUN, H.2014.**Caractérisation et quantification de la charge polluante anthropique et industrielle dans le bassin du Sebou. Thèse de Doctorat. Université de Toulon (France), 175 p.
- ❖ **HENZE M, M.C.M. VAN LOOSDRECHT, G. EKAMA and D. BRDJANOVIC. 2008.** Biological wastewater treatment: principles, modelling and design. Techno Eng.511p
- ❖ **INRS, 2014,** Institut nationale de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles, novembre 2014.
- ❖ **JORA. (2006).** Valeurs limites des paramètres de rejets diffluentés liquides industriels. Journal
- ❖ **Khalid E.K., Driss B., Khadija E.K., Abdelouahed K., Mohamed C., and Rachid B. 2011.**Caractérisation physico-chimique des eaux usées urbaines de la ville de Mechraa Belksiri (Gharb, Maroc). La science en liberté, Volume 3, N ° 110205, ISSN 2111- 4706.
- ❖ **LADJEL F., et BOUCHAFER S., 2006,** Exploitation d'une station d'épuration à boues activées, CFMA (centre aux métiers de l'assainissement), BOUMERDES p 90.
- ❖ **LAZAROVA V, (1998).** (CIRSEE - Lyonnaise des Eaux) et al., « La réutilisation des eaux usées : un enjeu de l'an 2000 » ; « L'eau, l'industrie, les nuisances », n°212, pp.39-46,mai.
- ❖ **LAZAROVA V,(1999).** (CIRSEE - Lyonnaise des Eaux), « Rôle de réutilisation des eaux usées pour la gestion des ressources: coûts, bénéfices et déficits technologiques » ; « L'eau, l'industrie, les nuisances », n°227, pp.47-57, août.
- ❖ **LAZAROVA V., GAID A., RODRIGUEZ-GONZALES J., ALDAY ANSOLA J. (2003).** L'intérêt de la réutilisation des eaux usées : analyses d'exemples mondiaux. Techniques, Sciences et Méthodes, N° 9, p 64-85.
- ❖ **LAZAROVA V., MAI 1998,** La réutilisation des eaux usées : un enjeu de l'an 2000, L'eau, l'industrie, les nuisances, n°212, pp.39-46.

- ❖ **Madigan, M., Martinko, J., Stahl, D., Clark, D. 2012.** Brock Biology of
- ❖ **MAKHOUKH, M., SBAA, M., BERRAHO et VAN. CLOOSTER, M. 2011.**
- ❖ **METAHRI, M.S . 2012.**Élimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes. Cas de la Step Est de la ville de Tizi-Ouzou. Thèse de doctorat, Université Mouloudmammeri de Tizi-Ouzou, 172p
- ❖ **METAHRI, M. (2012).** Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixte. Cas de la STEP Est de la ville de tizi-ouzou. Thèse de doctorat en agronomie, génie des procédés à l'université Mouloud mammeri de tizi-ouzou.
- ❖ **MONARCA S., FERETTI D., COLLIVIGNARELLI C., GUZZELLA L., ZERBINI I., BERTANZA G., AND PEDRAZZANI R. (2000).** The influence of different disinfectants on mutagenicity and toxicity of urban wastewater. *Water Research*, 34 (17), 4261-4269.
- ❖ **MOUSSA MOUMOUNI DJERMAKOYE, H. 2005.** Les eaux résiduaires des tanneries et des teintureries: caractéristiques physico-chimiques, bactériologiques et impacte sur les eaux de surface et les eaux souterraines «Mali». Thèse pour obtenir le grade de Docteur en Pharmacie. Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odontostomatologie. 119 p.
- ❖ **NISBET M., VERNEAUX J. 1970.** Composants chimiques des eaux courantes. *Annales de limnologie*, 6 fasc. 161-190p.
- ❖ **OMS (2006).** WHO guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater, volume II, Wastewater use in agriculture, 222p.
- ❖ **OMS 2006.** WHO guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater, volume II, Wastewater use in agriculture, 222p
- ❖ **OMS/UNICEF. 2000.** Rapport sur l'évaluation de la situation mondiale de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement.
- ❖ **ONA (2011).** Descriptif de fonctionnement et d'exploitation de la station d'épuration de Guelma, Ministère des Ressources en Eaux, Office National de l'Assainissement, Algérie, 64p.
- ❖ **ONA (2011).** Descriptif de fonctionnement et d'exploitation de la station d'épuration de Guelma, Ministère des Ressources en Eaux, Office National de l'Assainissement, Algérie, 64p. par Masson, Barcelona.
- ❖ **REJESK, F. 2002.** Les analyses des eaux. Tome II. France: Aspects réglementaires et technique. 360p. revue n° 3- septembre, pp. 44-52.
- ❖ **RICHARD C. 1996.** Les eaux, les bactéries, les hommes et les animaux: Edition Elsevier, Paris. 32-54p.
- ❖ **RODIER J., LEGUBE B., MERLET N. et COLL, 2009.** L'analyse de l'eau. 9^{ème}
- ❖ **RODIER, J. 2005.** L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 8^{ème} Edition. Dunod, Paris.

- ❖ **RODIER, J. 2009.** L'analyse de l'eau, 9ème édition; DUNOD, Paris, 1579p.
- ❖ **RODIER, J., LEGUBE, B., MERTEL, N. et BRUNET, R. 2005.** L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 8ème édition. Paris: DUNOD. 1383p.
- ❖ **SANZ J-P., FREUND M. and HOTHER. S. 1996.** Nitrification and denitrification in continuous upflow filters process modelling and optimization. *Water Science and Technology*, 34 : 441-448p
- ❖ **SATIN M., ET SELMI B., 1999,** Guide technique de l'assainissement. 2^e édition le moniteur. 430p.
- ❖ **SATIN M., et SELMI B., 1999.** Guide technique de l'assainissement. 2^e édition le moniteur. 430p.
- ❖ **SATIN, M., SELMI, B., (2006).** Guide technique de l'assainissement, **3^{ème} édition le moniteur** référence technique, Paris, 726p.
- ❖ **SUSCHKA J, FERREIRA E.** Activated sludge respirometric measurements. *Water Research*, **20**, 2, 137-144, (1986).
- ❖ **TALIBY, C. 2017.** Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des sources d'approvisionnement en eaux dans la Ville de Conakry. Thèse de Doctorat. Institut de Recherche en Biologie Appliquée de Guinée, Université Gamal Abdel Nasser de Conakry. 66 – 73p.
- ❖ **TOZE, S. 1999.** PCR and the detection of microbial pathogens in water and waste waters. *Water research*, 33(17): 3545–3556.
- ❖ **WERTHER ET OGADA, 1999,** Sewage sludge combustion. *Prog. Energy. Combustion. Science.* 25:55–116.
- ❖ **YAZID B. 2014.** Évaluation de la toxicité des eaux usées traitées par la station d'épuration de Guelma et son impact sur l'oignon « *Allium cepa* ». Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar, 158p.

ANNEXES

Annexe I

I.3.1. Prétraitement

C'est une étape nécessaire qui précède le prétraitement afin d'assurer le bon fonctionnement des autres équipements en aval. Au niveau de la station, les effluents arrivent ensuite à l'ouvrage de dégrillage pour éliminer les éléments solides les plus volumineux. Ce dernier est équipé de deux dégrilleur grossiers mécanisés d'espacement de 40mm. Ils sont par la suite relevés par 5 groupes de pompage immergés dont un en secours (voir annexe n°1), de débit unitaire de 1500 m³/h afin d'être dirigés vers les ouvrages de prétraitement qui assurent les étapes de traitement suivantes :

➤ Dégrillage fin

Il consiste à faire passer les eaux usées à travers deux canaux parallèles équipés de 2 dégrilleurs automatiques à 2 grilles dont les barreaux sont de 8mm d'espacement. Pour retenir des éléments plus au moins grossiers. Chaque dégrilleur est équipé d'un système de nettoyage (râteau) qui extrait les débris vers des bennes de stockage (figure 23).

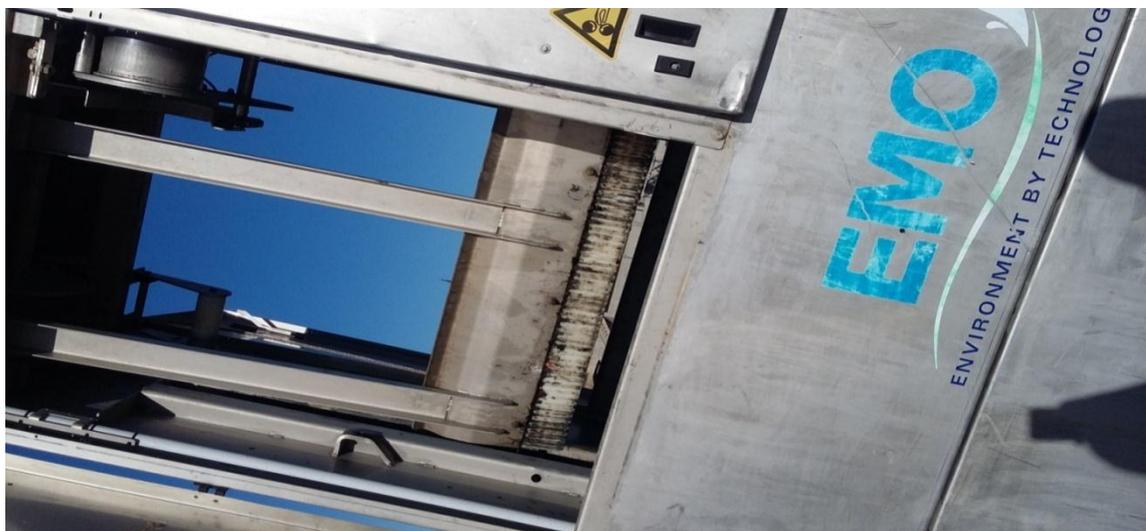


Figure 23. Dégrilleur fin (Photo originale, 2020)

➤ Dessablage / déshuilage

Après l'élimination des déchets solides, les eaux usées vont ensuite subir une élimination combinée des graisses par flottation et des sables par sédimentation.

- Dessablage

L'écoulement de l'eau à une vitesse réduite dans un bassin appelé : déssableur, entraîne une formation de dépôt de sables et de graviers (dont la granulométrie est supérieure à 200 microns) par décantation au fond de l'ouvrage. Ces particules sont ensuite aspirées par une pompe et leur destination dépend de la qualité de lavage.

- Déshuilage et dégraissage

Elle consiste à séparer des huiles et des graisses à densité inférieure à celle de l'eau dans un bassin qui leur permet de se rassembler à la surface. La flottation des graisses est assurée par l'utilisation d'air sur pressé pour créer un bullage dans le dessaleur déshuileur. Les graisses qui se flottent en surface sont évacuées par un racleur solidaire du pont (figure 24).



Figure 24. Dessableur/ déshuileur de la station de BENCHAAABAN (photo originale, 2020)

I.3.2. Traitement primaire (décantation primaire)

Situé en aval du prétraitement, la décantation primaire a pour but d'effectuer un premier abattement sur les paramètres MES (~55%), DCO (~30%) et DBO₅ (~30%) avant d'arriver dans les bassins biologiques. Cela se traduit par l'accumulation de boues au fond du décanteur. Ces boues sont alors extraites vers la file de traitement des boues via la bêche de mélange des boues.

La décantation primaire se fait sans ajout des réactifs et est basée uniquement sur la gravité. Les eaux qui viennent d'amont sont injectées en partie basse des décanteurs. Les eaux décantées sont évacuées par les goulottes en partie haute des décanteurs. Cet ouvrage contient un pont racleur qui fonctionne en continu lorsque le décanteur est en service (figure 25). Il remplit 2 fonctions :

- ✓ Raclage des boues au fond du décanteur afin de les diriger vers le puits central pour évacuation gravitaire vers la bêche de mélange des boues.
- ✓ Nettoyage de la surface du décanteur et évacuation des flottants vers le poste à flottants.

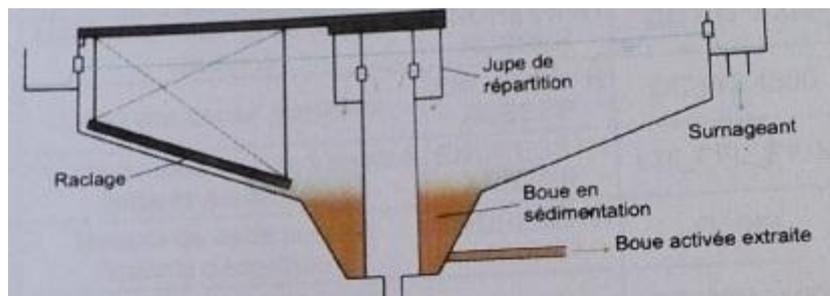


Figure 25. Principe de la décantation primaire (VEOLEA, 2019)

I.3.3. Traitement biologique (Bassin d'aération)

En aval des décanteurs primaires, les effluents sont dirigés vers le bassin de volume unitaire de 5000 m³ pour effectuer le traitement biologique.

L'épuration de l'eau s'effectue grâce à une population bactérienne spécifique, cette population appelée biomasse ou boue activée, dégrade et assimile la pollution. Ce mécanisme génère une croissance bactérienne qui permet un renouvellement et un développement continu des bactéries.

Le bassin biologique présente 3 objectifs :

- Oxydation des produits carbonés.
- Oxydation et réduction des produits azotés.
- Oxydation et réduction des produits phosphorés.

Pour contrôler le process et remplir ces objectifs, 3 actions sont nécessaires :

- Aération du bassin (3 agitateur de surface) (figure 26).
- Recirculation des boues.
- Extraction des boues en excès (vers l'épaississeur).



Figure 26. Bassin d'aération (photo originale, 2020)

Le principe de cette étape est comme suit :

➤ **Traitement de la DCO et la DBO₅**

Il se fait par des bactéries aérobiques, le mode de fonctionnement dépend de la quantité de boue dans le bassin et de la charge polluante entrante.

Les boues activées sont classées de différentes manières. Cette station procède par un traitement moyenne charge compris entre 0.25 et 0.5 (MVS/ DBO₅), ce qui présente 3 avantages :

- Traitement de la pollution carbonée avec un meilleur rendement que forte charge.
- Production de boues stables non fermentescibles.
- Traitement partielle de l'azote.

➤ **Traitement de l'azote**

L'élimination de la pollution azotée se fait dans un cycle comprenant 2 phases distinctes :

- **Principe de la nitrification**

La nitrification consiste à transformer l'ammoniaque (NH_4^+) en nitrates (NO_3^-) en passant par la formation de nitrites (NO_2^-). Elle est réalisée en présence d'oxygène et de TAC par une biomasse dite « autotrophe » :



NB : En cas de carence d'oxygène ou de TAC, la réaction est incomplète et peut s'arrêter au stade nitrites.

- **Principe de la dénitrification**

La dénitrification consiste à transformer les nitrates (NO_3^-) en azote gazeux (N_2) en passant par la formation de nitrites, elle est réalisée en anaérobie par une biomasse dite « hétérotrophe » :



NB : En cas de carence de DBO, la réaction peut s'arrêter au stade nitrites. Il est donc important de contrôler le rapport DCO / DBO₅ de l'eau (2.5 à 3 pour une eau biodégradable).

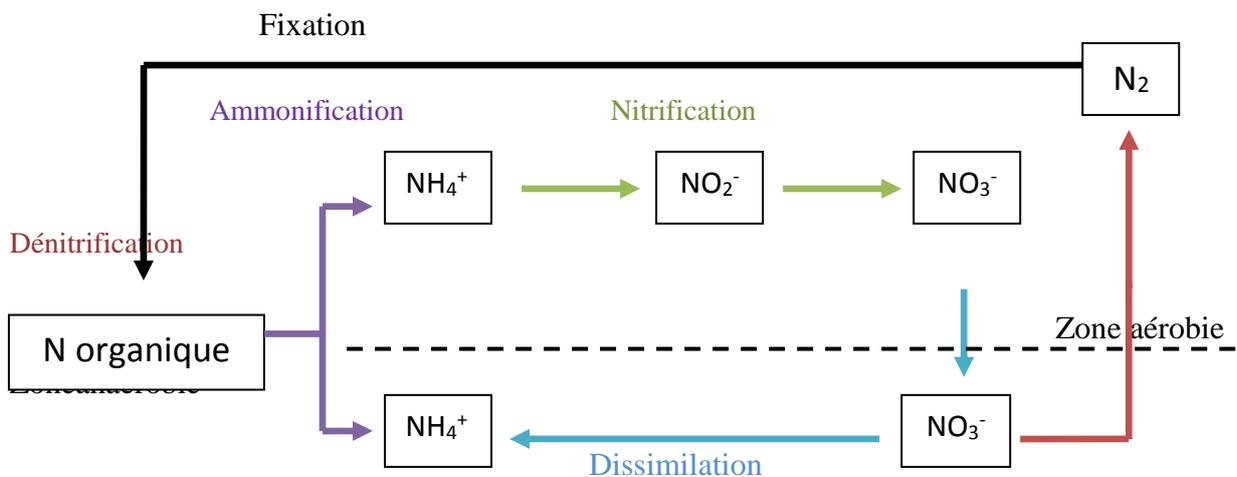


Figure 27. Schéma explicatif du principe de traitement d'azote (VEOLEA, 2019)

➤ **Traitement du phosphore**

Il peut se faire selon 2 phénomènes

• **Traitement physico-chimique du phosphore**

Le traitement du phosphore se fait par injection de coagulant (Chlorure ferrique FeCl_3). Il est précipité et retenu avec les boues et est donc retiré lors de l'extraction des boues à la phase de recirculation.

• **Traitement biologique du phosphore**

Dans ce cas le phosphore est transféré de l'eau vers les bactéries lors de l'alternance entre les phases aérobies et anaérobies dans le bassin biologique.

Le tableau ci-dessous montre quelques exemples de microorganismes épuratoires :

Tableau XII. Quelques microorganismes épuratoires

Bactéries	Protozoaires	Métazoaires
Pseudomonas	Zooflagellés	Rotifères
Aeromonas	Amibes	Nématodes
Flavobacter	Sacrodivines	Ciliée
Alcaligenes	-	-

(VEOLEA, 2019)

I.3.4. Dégazage

Il a pour but l'exploitation du clarificateur, la zone de dégazage commune aux trois lignes est prévue entre les bassins d'aération et les clarificateurs.

La vitesse de passage des effluents prévue est de 39.7 m/h, ce qui permet une bonne séparation des particules gazeuses piégées par les microorganismes.

I.3.5. Clarification (Décantation secondaire)

Cette étape de traitement est primordiale pour garantir une qualité de rejet conforme aux exigences du cahier de charge. Elle assure la séparation de l'effluent épuré de la boue, il est de 4300 m de diamètre. Les boues se décantent au fond d'ouvrage. De là, une quantité des boues recueillies dans les clarificateurs revient au bassin d'aération pour maintenir la concentration en biomasse épuratrice suffisante et l'autre va rejoindre l'ouvrage d'épaississement.

A la sortie des clarificateurs, les eaux traitées sont récupérées par surverse et dirigées vers le poste de désinfection et le comptage de sortie.

I.3.6. Désinfection

La désinfection est réalisée par injection d'eau de javel, afin de faciliter l'approvisionnement sur la station de traitement, l'eau de javel proposée est un produit commercial classique avec une concentration en chlore de 13%. Une prise des eaux traitées permettra une production d'eau industrielle pour les besoins de lavage des équipements de l'usine.

Les eaux en sortie sont comptabilisées par l'intermédiaire d'un canal venturi équipé d'une sonde de type ultra son. Après le comptage, les eaux seront acheminées gravitairement vers le rejet (Oued Thlata) par un carneau béton.

Annexe II

Matériels pour les analyses physico-chimiques

❖ Appareillage

- ✓ Agitateur magnétique
- ✓ appareil multi-paramètre
- ✓ Balance de précision
- ✓ DBO mètre oxiDirect
- ✓ Etuve
- ✓ Four à moufle.
- ✓ Conductimètre
- ✓ Incubateur pour DBO₅
- ✓ Oxymètre.
- ✓ Papiers filtre
- ✓ Pompe à vide.
- ✓ Réfrigérateur.
- ✓ Spectrophotomètre, XD 7000
- ✓ thermoréacteur

❖ Verrerie

- ✓ Bêchers
- ✓ Entonnoir
- ✓ Eprouvettes 100ml, 1l.
- ✓ Flacons avec bouchons pour DBO₅.
- ✓ Fioles 10ml, 50ml, 100ml.
- ✓ Micropipette
- ✓ Réfrigérants

❖ Colorants, réactifs et produits chimiques

- ✓ Eau distillée
- ✓ Eau de javel
- ✓ inhibiteur de nitrification
- ✓ solution d'hydroxyde de potassium
- ✓ vario TN Persulfate
- ✓ Vario TN Réactif A
- ✓ vario TN Réactif B
- ✓ TN acide LR/HR
- ✓ Vario AMMONIA Salicylate F5
- ✓ Vario AMMONIA Cyanurâtes F5.
- ✓ Vario Nitrates Chromotropic.

- ✓ Nitrite LR TT /725
- ✓ Phosphatetetot. LRTT

Matériel pour les analyses microbiologiques

❖ Appareillages et verreries

- ✓ Bain marie 80°C
- ✓ Bec Bunsen
- ✓ Boîtes de pétri
- ✓ Etuves
- ✓ Flacons 250ml
- ✓ Glacière
- ✓ Pipettes Pasteur
- ✓ Portoir
- ✓ Réfrigérateur
- ✓ Tubes à essai

❖ Réactif, additifs et solution

- ✓ Alun de fer
- ✓ Eau distillée
- ✓ Eau du javel
- ✓ Sulfite de sodum
- ✓ Réactif de Kovacs

❖ Milieux de culture

Bouillon lactosé au bromocrésol pourpre (BCPL, milieu simple et double concentration)

Peptone	5g
Extrait de viande	3g
Lactose	10g
Pourpre de bromocrésol.....	0,3g
Bacto agar difco.....	15g
Eau distillée.....	1000ml

Bouillon de Schubert en g/l d'eau distillée

Tryptophane	0,2g
Acide glutamique.....	0,2g
Sulfate de magnésium.....	0,7g

Annexe

Citrate de soduim	0,5g
Sulfate d'ammonuim.....	0,4g
Chlorure de soduim.....	2g
Peptone.....	10g
Mannitol.....	7,5g
Phosphate disodique.....	4g
Phosphate monopotassique.....	0,6g
Eau distillée.....	500ml

Milieu ROTHE (milieu simple et double concentration)

Milieu S/C

milieu D/C

Hydrolysats typsiuecasacine.....	12,6g.....	25,2g
Peptone bactériologique.....	8g.....	16g
Glucose	5g.....	10g
Chloruresoduim.....	5g.....	10g
Phosphate dipotassique.....	2,7g.....	5,4g
Phosphate monopotassique.....	2,7g.....	5,4g
Azide de soduim.....	0,2 g.....	0,4g

Milieu Eva Listky

Peptone.....	20g
Glucose.....	5g
Chlorure de soduim.....	5g
Phosphate dipotassique.....	2,7g
Phosphate monopotassique.....	2,7g
Azohydrate de soduim	0,3g
Ethyl violet.....	.5ml
Eau distillée	1000ml

Gélose viande foie (VF)

Glucose.....	30g
Amidon.....	2g
Agar.....	6g
Eau distillée.....	1000ml



Figure 28. Tube à testvario /DCO (photo original)



Anneau
rouge

Figure 29. Lecteur des résultats des coliformes fécaux *Escherichia coli* (photo original)

Annexes

Annexe III

Tableau XIII. Résultats des analyses physico-chimiques de la STEP de Benchaabane

paramètres	PH		T °C		CE (μ S/cm)		MES (mg/l)		OD (mg/l)		DCO (mg/l)		DBO ₅ (mg/l)		NH ⁴⁺ (mg/l)		NO ₂ ⁻ (mg/l)		NO ₃ ⁻ (mg/l)	
	EB	EE	EB	EE	EB	EE	EB	EE	EB	EE	EB	EE	EB	EE	EB	EE	EB	EE	EB	EE
P1	7,81	7,41	17	18	1656	1221	272	12	4,58	4,5	270	57	177	10	48	15	0,17	0,04	6,8	4,5
P2	7,51	7,18	18	16	1025	949	437	9	5,43	3,89	572,5	66	374	12	39	10	0,12	0,01	0,9	2,4
P3	8	7,3	18	20	1598	1341	427	41	1,4	5,78	805	69,4	324	18	65	49	0,31	0,16	2	6,15
P4	7	8	18	19	1212	1000	230	26	1,6	6,7	721	68,1	278	14	51	11	0,1	0,13	2,69	4,63
P5	7,4	7,79	18	18	789	980	119	26	1,55	5,72	387	57	362	10	56	10	0,09	0,01	2	1
P6	7,3	7,5	18	17	1340	1230	30	68	1,78	5,3	200	54	120	9	62	35	0,73	0,53	1,33	3,12
Moyenne	7,5	7,53	17,83	18	1270	1120	252,5	30,3	2,72	5,31	492	61,91	272,5	12,16	53,5	21,66	0,25	0,15	2,62	3,63

Tableau XIV. Table Mac Grady NPP (Nombre le plus probable)

1 X 50 ml	5 X 10 ml	5 X 1 ml	Nombre Caractéristique	Limites de confiance	
				Inférieure	Supérieur
0	0	0	<1	<0,5	4
0	0	1	1	<0,5	6
0	0	2	2	<0,5	4
0	1	0	1	<0,5	6
0	1	1	2	<0,5	8
0	1	2	3	<0,5	6
0	2	0	2	<0,5	8
0	2	1	3	<0,5	11
0	2	2	4	<0,5	8
0	3	0	3	<0,5	13
0	3	1	5	<0,5	13
0	4	0	5	<0,5	4
1	0	0	1	<0,5	8
1	0	1	3	<0,5	11
1	0	2	4	<0,5	15
1	0	3	6	<0,5	8
1	1	0	3	<0,5	13
1	1	1	5	1	17
1	1	2	7	2	21
1	1	3	9	<0,5	13
1	2	0	5	1	17
1	2	1	7	3	23
1	2	2	10	3	28
1	2	3	12	2	19
1	3	0	8	3	26
1	3	1	11	4	34
1	3	2	14	5	53
1	3	3	18	6	66
1	3	4	21	4	31
1	4	0	13	5	47
1	4	1	17	7	59
1	4	2	22	9	85
1	4	3	28	12	100
1	4	4	35	15	120
1	4	5	43	8	75
1	5	0	24	12	100
1	5	1	35	18	140
1	5	2	54	27	220
1	5	3	92	39	450
1	5	4	160		
1	5	5	>240		

Tableau XV. Rendements épuratoires des principaux paramètres physico-chimiques.

	MES (mg/l)	DCO (mg/l)	DBO (mg/l)
EB	252,5	492	272,5
EE	30,3	61,91	13
Rendement %	90,63	88,47	95,04

Tableau XVI. Normes extrêmes limitées aux eaux d'irrigation

Paramètres	Unité	Normes
PH		6,5- 8,5
Conductivité électrique	ms/cm	<3*
MES	mg/l	<70*
DCO (mg/l)	mg/l	<40*
DBO₅	mg/l	<30*
NO₃⁻	mg/l	<50*
NO₂⁻	mg/l	<1*
PO₄⁻³	mg/l	<0.94*
HCO₃	mg/l	500**
SO₄²⁺	mg/l	400**
CL	mg/l	1065**
Ca²⁺	mg/l	400**
Na²⁺	mg/l	920**
Mg²⁺	mg/l	60.75**
Cd²⁺	mg/l	0.01*
Pb⁺²	mg/l	0,05*
Zn²⁺	mg/l	2*
Cr⁶⁺	mg/l	0,1*
NH⁴⁺	mg/l	<2*

*OMS(1989), **FAO(2003)