

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université SAAD DAHLAB - Blida 1



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Biologie

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master dans le domaine SNV

Filière Hydrobiologie marine et continentale

Option : Ecosystèmes Aquatiques

Thème

Contribution à l'étude de l'efficacité du traitement de la station de Beni Mered dans l'abattement des paramètres physico-chimiques et bactériologiques

Présenté par :

Date de soutenance : 07/07/2021

- **KHERROUBI Rania**
- **KETTAB Sabrina**

Devant le jury :

M^{me} HAMZI W.	M.C.B.	Université de Blida 1	Présidente
M^r BOURIACH M.	M.C.B.	Université de Blida 1	Examineur
M^{me} HAMAIDI F.	Professeure	Université de Blida 1	Promotrice
M^r BOUTEKFA Y.	Doctorant	Université de Blida 1	Co-promoteur

Année Universitaire : 2020-2021



Remerciement

En premier lieu, permettez-nous d'exprimer nos plus vifs remerciements à Dieu le tout puissant pour la volonté, la santé, et la patience qu'il nous a donnée pendant toutes ces longues années d'études et sans qui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre promotrice Mme HAMAIDI.F pour sa disponibilité, ses conseils judicieux, ses encouragements et ses commentaires fortement utiles.

Nos plus sincères remerciements à Mme HAMZI.W de nous avoir fait l'honneur de présider ce jury,

Mr BOURIACHE.M d'accepte de participer à ce jury en tant qu'examineur de ce travail.


Nous remercions notre Co-promoteur Mr BOUTEKFA.Y pour son soutien et ses précieux conseils.

Nous remercions également l'ensemble du personnel du laboratoire de la station d'épuration de Beni Mered, Mme FERRAH.F et de laboratoire d'hygiène de Blida Mr TEFFAHI D, Mme BENAHMED., Mme NEKAB., Mme RAMOULE et toute équipe pour l'immense aide apporté à notre travail.

Enfin, on adresse nos plus sincères remerciements à l'ensemble de l'équipe pédagogique et à tous les enseignants du département biologie et physiologie cellulaire.

MERCI À TOUTES ET À TOUS.





C'est avec une énorme joie et un infini plaisir, que je dédie ce modeste travail :

Aux deux plus chères personnes de ma vie, qui m'ont quittée très tôt. Mes grands parents DJEDOU et YEMA AZOUZOU, que dieu nos réunisse un jour dans son vaste paradis.


A ma chère MAMAN, la perle de ma vie, qui a ouvert pour ma réussite de part son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, toute son assistance et sa présence dans ma vie JE T'AIME MAMAN.

A mes chères AFFAF, MADINA et AMEL pour leur amour, leur soutien et leur conseils précieux et surtout pour leur encouragement.

A toute ma famille : mes oncles, mes tantes, mes cousins et cousines adorés et à tous mes proches qui m'ont soutenue.

A ma binôme SABRINA je te remercie pour ta patience et ton encouragement durant cette expérience.

RANIA



Je dédie ce modeste travail à la femme qui a sacrifié sa vie à notre
éducation ma très chère mère 'Fatima Zohra'

A l'homme qui signifie le mot qui m'encourage et me donne de la force
de croire mon très cher père 'Mohamed'.

La lumière de mes yeux mes parents.

A ma chère sœur 'ASMA' et mes deux chers frères 'Imad Eddine' et 'Akram' que
j'aime énormément.

A mes chères Nièces 'MARIA' ET 'ANIA'.

A ma très chère grand-mère maternelle ainsi à la mémoire de ma grande mères
paternelle et mes grands-pères.

A mes tantes spécialement 'Nassima' et mes oncles qui m'ont soutenu beaucoup.

Ma binôme Rania qui à partager avec moi le bonheur et le malheur ainsi que toute sa
famille.

Sans oublier mes chères amies Ilhem, Zola, Bakhta, Amina, Nourhane ,Yousra ,
Nesrine , Madina et toute personne qui m'aime.

SABRINA



Résumé

Cette étude consiste d'une part à l'évaluation de l'efficacité du traitement des eaux usées de la station d'épuration de Béni Mered située dans la wilaya de Blida dans l'abattement de certains paramètres physico-chimiques et bactériologiques et d'autre part pour estimer la résistance des bactéries pathogènes isolées des effluents épurés vis-à-vis de plusieurs antibiotiques.

Les résultats physico-chimiques ont révélé un pH neutre (pH=7,5), des rendements satisfaisants pour les MES, DCO, DBO₅ avec des taux d'abattelements respectivement de 96,69%, 92,12%, 95,54%.

Le rapport DCO/DBO₅ illustre bien la biodégradabilité des eaux usées dans cette STEP.

Le taux de réduction de l'azote total et le phosphore total atteint respectivement 69%, 51,33%.

L'étude des indicateurs bactériens à montrer une contamination fécale dans la STEP avec un rendement significatif de Coliforme Totaux 99,18%, Coliforme Fécaux 86,67%. Concernant les bactéries pathogènes nous avons noté la présence des *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* et l'absence de *Salmonella* et de *Vibrion cholérique* dans les effluents épurés.

L'étude de l'antibiorésistance de *Pseudomonas aeruginosa* a révélé une sensibilité (TR=0) vis-à-vis de la Gentamicine et Amikacine. La souche isolée de *Staphylococcus aureus* présente un taux de résistance de 100% pour les antibiotiques : Pénicilline et Oxacilline, et une sensibilité pour : la Gentamicine et Erythromycine. *Klebsiella pneumoniae* présente un taux de résistance de 100% pour les antibiotiques : Amoxicilline + acide clavulanique, Cefoxitine, Cefazoline.

Mots clés : STEP Béni Mered, Paramètres physico-chimiques, Bactériologiques, Antibiorésistance, Blida.

Abstract

This study consists in the evaluation of the efficiency of the wastewater treatment of the Beni Mered wastewater treatment plant located in the wilaya of Blida in the abatement of some physico-chemical and bacteriological parameters and to estimate the resistance of pathogenic bacteria isolated from the treated effluents towards several antibiotics.

The physico-chemical results revealed a neutral pH (pH=7.5), satisfactory yields for TSS, COD, BOD5 with abatement rates of 96.69%, 92.12%, 95.54% respectively.

The COD/BOD5 ratio illustrates the biodegradability of the wastewater in this WWTP.

The reduction rate of total nitrogen and total phosphorus reached respectively 69%, 51.33%.

The study of the bacterial indicators showed a fecal contamination in the WWTP with a significant yield of Total Coliform 99.18%, Fecal Coliform 86.67%. Regarding pathogenic bacteria we noted the presence of *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* and the absence of *Salmonella* and *Vibrio cholerae* in the treated effluent.

The study of antibiotic resistance of *Pseudomonas aeruginosa* revealed a sensitivity (TR=0) towards Gentamicin and Amikacin. The isolated strain of *Staphylococcus aureus* presents a 100% resistance rate for the antibiotics: Penicillin and Oxacillin, and a sensitivity for: Gentamicin and Erythromycin. *Klebsiella pneumoniae* has a resistance rate of 100% for the antibiotics: Amoxicillin + clavulanic acid, Cefoxitin, Cefazoline.

Key words: wastewater treatment plant of Beni Mered, Physic-chemical parameters, bacteriological parameters, Antibiotic resistance.

الملخص

الهدف من دراستنا هو تقييم فعالية معالجة المياه المستعملة في محطة تطهير مياه الصرف الصحي ببني مراد وذلك عن طريق اجراء دراسة فزيوكيميائية وبكتريولوجية لمدة شهرين. ومن ناحية أخرى دراسة مقاومة المضادات الحيوية من طرف البكتيريا المعزولة من عينات المياه النقية وهذا على مستوى محطة بني مراد لتطهير مياه الصرف الصحي ومخبر الصحة بالبلدية.

كشفت النتائج الفزيوكيميائية عن ان درجة الحموضة معتدلة. تمعدن عالي ومردودية مرضية بالنسبة للمواد العالقة والطلب الكيميائي والبيولوجي للأكسجين، معدل التخفيضات هو على التوالي : %95.54, %92,12, %69,96, بيرز فحص نسبة الطلب الكيميائي والبيولوجي للأكسجين قابلية التحلل الحيوي لمياه الصرف في هذه المحطة. بلغت مردودية إزالة كل من النيتروجين الكلي، والفسفور الكلي نسبة %69 و %51.33 على التوالي.

النتائج التي تم الحصول عليها من التحليل الذي أجرى للبحث وتعداد البكتيريا الدالة على التلوث الغائط أعطت نسبة تخلص من القولونيات الكلية ب %99.18، القولونيات البرازية %86.67.

اما بالنسبة للبحث عن البكتيريا المسببة للأمراض لاحظنا وجود البسودوموناس ايروجينوزا، و ستيفيلوكوكوس أوربوس مع غياب السالمونلا و فيبريوكوليريك في الملاء المعالجة.

كشفت دراسة مقاومة المضادات الحيوية عن حساسية لبسودوموناس ايروجينوزا تجاه الجنتاميسين والأميكاسين. السلالة المعزولة من ستيفيلوكوكوس أوربوس لديها معدل مقاومة 100% للمضادات الحيوية: البنسلين والأوكسيلين ، وحساسية ل: جنتاميسين وإيريثروميسين. كليبسيلا الرئوي لديه معدل مقاومة 100% للمضادات الحيوية: الأموكسيسيلين + حمض الكلافولانيك ، سيفوكسيتين ، سيفازولين.

الكلمات المفتاحية: محطة تطهير المياه بني مراد؛ المعلمات الفزيوكيميائية، البكتريولوجية، المقاومة للمضادات الحيوية.

Liste des abréviations

µm : Micromètre
ASR : Anaérobie Sulfito-Réducteurs
BCPL : Bouillon Lactosé au Pourpre de Bromocrésol
BGN : Bacille Gram Négatif
C° : Degré Celsius
CE : Conductivité
CF : Coliformes Fécaux
CGP : Cocci Gram Positif
CT : Coliformes Totaux
D/C : Double Concentration
DBO : Demande Biochimique en Oxygène
DCO : Demande Chimique en Oxygène
EB : Eau Brute
EE : Eau Epurée
EH: Equivalent Habitant
FAO: Food and Agriculture Organization
GN : Gélose Nutritive
J : Jour
JORA : Journal officielle algérien
M : Mètre
MES : Matière en Suspension
MH : Muller Hinton
MM : Matières minérales
MV : Matière Volatile
MVS : Matières volatiles en suspension
NT : Azote total
OMS : Organisation Mondiale de la Santé
ONA : Office Nationale d'Assainissement
PH : Potentiel d'hydrogène
PR : Poste de Refoulement
PT : Phosphore total
S/C : Simple Concentration
SF : Streptocoques Fécaux
SFB : Bouillon Sélénite-Cystéine
ST : Streptocoques Totaux
STEP : Station d'épuration
T : Température
TR : Taux de résistance
UFC : Unité Formant Colonie
VF : Viande Foie

Liste des figures

Figure 1 : Etape de traitement d'une station d'épuration par boues activés	12
Figure 2 : Mécanisme d'action des antibiotiques	18
Figure 3 : Situation géographique de la STEP	18
Figure 4 : Station d'épuration de Beni Mered	19
Figure 5 : Etapes de Traitement des Eaux Usées STEP Beni Mered	20
Figure 6 : prélèvement d'eau brute	21
Figure 7 : Prélèvement d'eau épurée	21
Figure 8 : Préparation de la dilution des eaux brutes	27
Figure 9 : Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux en milieu liquide	30
Figure 10 : Recherche et dénombrement des streptocoques totaux et fécaux	32
Figure 11 : Recherche et dénombrement des spores d'ASR	33
Figure 12 : Recherche des <i>Salmonelles</i>	35
Figure 13 : Recherche de <i>Vibriion cholérique</i>	36
Figure 14 : Recherche de <i>Staphylococcus aureus</i>	37
Figure 15 : Recherche de <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	39
Figure 16 : Galerie classique biochimique	40
Figure 17 : Galerie biochimique API 20 E	41
Figure 18 : Galerie biochimique API STAPH	42
Figure 19 : Variation de la température	44
Figure 20 : Variation du pH	45
Figure 21 : Variation de la conductivité électrique	46
Figure 22 : Variation de l'Oxygène dissous	47
Figure 23 : Variation de matière en suspension	48

Figure 24 : Rendement d'élimination de MES	49
Figure25 : Rendement d'élimination de la DCO et la DBO ₅	53
Figure 26 : Rendement d'élimination des coliformes totaux et coliformes fécaux	55
Figure 27 : Histogramme du nombre de Streptocoques Fécaux	56
Figure 28 : Rendement d'élimination des SF	57
Figure 29 : Exemple de boite Hach LCK	Annexe

Liste des tableaux

Tableau I : Différents types de pollution de l'eau	4
Tableau II : Maladies d'origines hydrique et leur agents responsables	10
Tableau III : Normes de rejet des paramètres physicochimiques. Appliquée en Algérie	14
Tableau IV : Normes de rejet des paramètres microbiologiques (OMS, 2003)	16
Tableau V : Données de base de la STEP de Beni Mered	19
Tableau VI : Résultat de l'azote total	49
Tableau VII : Résultat du phosphore total	50
Tableau VIII : Résultats de la DCO et de la DBO ₅ et de K	52
Tableau IX : Résultats des coliformes totaux et coliformes fécaux	55
Tableau X : Résultats de la recherche et le dénombrement des ASR	58
Tableau XI : Résultats des germes pathogènes	60
Tableau XII : Resultat de l'étude macroscopique	61
Tableau XIII : Resultat de l'étude microscopique	61
Tableau XIV : Resultat de teste d'orientation	62
Tableau XV : Espèces identifiées	62
Tableau XVI : Dominance des entérobactéries sur le milieu liquide et milieu solide	63
Tableau XVII : Résultat de mesures des zones d'inhibition pour <i>Klebsiella pneumoniae</i> (n=3)	64
Tableau XVIII : Résultat de mesures des zones d'inhibition pour <i>Streptocoque du groupe D</i> (n=2)	65
Tableau XIX : Résultat de mesures des zones d'inhibition pour <i>Staphylococcus aureus</i> (n=1)	65
Tableau XX : Résultat de mesures des zones d'inhibition pour <i>Pseudomonas aeruginosa</i> (n=1)	66
Tableau XXI : Système de mesure de la DBO et volumes correspondants	Annexe
Tableau XXII : Rendement minimum d'élimination	
Tableau XXIII : Rendement d'épuration de la DCO et de la DBO	
Tableau XXIV : Rendement d'épuration des Coliformes Totaux et Coliformes Fécaux	

Tableau XXV : Normes physico-chimiques de rejet selon l’OMS 2006 et JORA 2006,2013

Tableau XXVI : Nombres plus probable

Tableau XXVII : Table de lecture de la galerie biochimique API 20 E

Tableau XXVIII : Table de lecture de la galerie biochimique API STAPH

Tableau XXIX : Résultats bactériologiques de la station d'épuration de Beni Mered

Tableau XXX : Résultats physico-chimiques de la station d'épuration de Beni Mered

Tableau XXXI : Noms, abréviations et charge d’antibiotiques utilisés

Tableau XXXII : Valeurs critiques des diamètres des zones d’inhibition et des CMI pour les Entérobactéries

Tableau XXXIII : Valeurs critiques des diamètres des zones d’inhibition et des CMI pour les *pseudomonas aeruginosa*

Tableau XXXIV : Valeurs critiques des diamètres des zones d’inhibition et des CMI pour les *staphylococcus spp*

Tableau XXXV : Valeurs critiques des diamètres des zones d’inhibition et des CMI pour les *Enterococcus spp*

Sommaire

Résumé	
Liste des abréviations	
Liste des Tableaux	
Liste des Figures	
Introduction.....	01
Partie Bibliographique :	
Chapitre I : Généralités sur les eaux usées	
I.1 Définition.....	
I.2. Origine des eaux usées.....	02
I.3 La pollution de l'eau.....	02
I.4. Différents types de pollution.....	03
I.5. Paramètres de mesure de la pollution.....	04
I.5.1 Paramètres physiques.....	04
I.5.2. Paramètres chimiques	05
I.5.3 Paramètres biologiques.....	05
I.5.3.1 Germes indicateurs d'une contamination fécale (saprophytes).....	08
I.5.3.2 Germes Pathogènes.....	08
I.5.3.3.Principales maladies à transmission hydrique.....	09
	10
Chapitre II : Procédés De Traitement Des eaux usées	
II.1 Définition de la station d'épuration	
II.2 Etapes d'épuration des eaux usées.....	11
II.2.1 Prétraitement.....	11
II.2.2 Traitement primaire.....	12
II.2.3 Traitement secondaire.....	12
II.2.4 Traitements tertiaires.....	12
II.3 Les normes de rejet.....	14
	14
Chapitre III : Résistance aux antibiotiques	
III.1 Définition des antibiotiques.....	
III.2 Mode d'action.....	16
III.3 Résistance bactérienne.....	16
III.4 Bactéries multiresistantes dans l'eau	17
Partie expérimentale	17
I. Matériel et Méthodes	
I.1 Description du site d'étude.....	
I.2 Méthodes.....	18
I.2.1 Echantillonnage.....	21
I.2.2 Mode de prélèvement.....	21
I.2.3 Analyses physicochimiques.....	21
I.2.3.1 Détermination de la température.....	22
I.2.3.2 Mesure du potentiel d'Hydrogène.....	22
I.2.3.3 Mesure de la conductivité électrique.....	22
I.2.3.4 Détermination de la concentration en oxygène dissous.....	23
I.2.3.5 Détermination des matières en suspension.....	23
I.2.3.6 Dosage de l'azote total.....	23
I.2.3.7 Dosage de phosphore total.....	24

I.2.3.8 Détermination de la demande chimique en oxygène.....	25
I.2.3.9 Détermination de la demande biochimique en oxygène.....	26
I.2.4 Analyse bactériologique.....	26
I.2.4.1 Préparation des dilutions.....	27
I.2.4.2 Recherche et dénombrement des bactéries indicatrices de contamination fécale.....	27
I.2.4.3 Recherche de bactéries pathogènes.....	28
I.2.5 Identification biochimique des bactéries dans l'eau épurée.....	33
I.2.5.1 Etude macroscopique et microscopique.....	39
I.2.5.2 Test d'orientation rapide.....	39
I.2.5.3 Galerie biochimique classique.....	39
I.2.5.4 Galerie biochimique miniaturisée API20E.....	40
I.2.5.5 Galerie biochimique miniaturisée APISTAPH.....	41
I.2.6 Antibiogramme.....	41
I.2.7 Détermination du rendement de l'épuration.....	42
	43

II. Résultat et discussion -----

II.1 Paramètres physicochimiques.....	
II.1.1 Température.....	44
II.1.2 Potentiel d'Hydrogène.....	44
II.1.3 Conductivité électrique.....	45
II.1.4 Oxygène dissous.....	45
II.1.5 Matières en suspension.....	46
II.1.6 Azote total.....	47
II.1.7 Phosphore total.....	49
II.1.8 Détermination de pollution organique.....	49
II.2 Paramètres bactériologiques.....	50
II.2.1 Recherche et dénombrement des Coliformes Totaux	52
II.2.2 Recherche et dénombrement des coliformes fécaux	52
II.2.3 Recherche et dénombrement des Streptocoques Fécaux	52
II.2.4 Recherche et dénombrement des Spores d'Anaérobies Sulfito-Réducteurs	55
II.2.5 Recherche des bactéries du genre Staphylococcus.....	56
II.2.6 Recherche de Pseudomonas aeruginosa.....	57
II.2.7 Recherche des bactéries du genre Salmonella.....	58
II.2.8 Recherche des bactéries du genre vibrion cholérique.....	58
II.3 Identification des souches isolées des eaux épurées.....	58
II.4 Antibiogramme.....	60
II.4.1 Etude de la résistance des souches Klebsiella pneumoniae.....	63
II.4.2 Etude de la résistance des souches de Streptocoque du groupe D.....	63
II.4.3 Etude de la résistance des souches de Staphylococcus aureus.....	64
II.4.4 Etude de la résistance des souches de Pseudomonas aeruginosa.....	64
	65

Conclusion et perspectives

Références Bibliographiques

Annexes

Introduction Générale

INTRODUCTION

En Algérie, Les disponibilités en eau sont estimées à 17 milliards de m³ par an dont 12 milliards de m³ dans les régions Nord (2 milliards de m³ pour les ressources souterraines et 10 milliards de m³ pour les ressources superficielles) et 5 milliards de m³ dans le Sud. Sachant que toutes les ressources souterraines du Nord sont mobilisées en plus des 70% des ressources superficielles (**Metahri., 2012**).

Face aux changements climatiques de ces dernières années, l'accroissement démographique et le développement de l'urbanisation ont conduit à l'apparition des problèmes multiples et complexes. Le volume annuel d'eaux usées domestiques rejetées est estimé à 800 millions m³. Ce sont des quantités importantes et facilement localisables que le pays ne peut négliger (**Metahri, 2012**). Le recours à l'épuration des eaux usées urbaines, souvent chargées en éléments nutritifs tels que l'azote et le phosphore, représenterait d'une part une source d'eau et d'engrais additionnelle renouvelable et fiable pour l'agriculture et d'autre part, elle permettrait la protection des milieux aquatiques récepteurs en plus de la préservation des ressources naturelles superficielles et souterraines pour une vocation plus noble qui est l'alimentation en eau potable (**Boualla et al., 2011**).

D'après les données chiffrées publiées par l'ONA (Office Nationale d'Assainissement) en janvier 2019, l'Algérie a connu pendant ces deux dernières décennies une évolution remarquable dans la construction des stations d'épurations des eaux usées urbaines et industrielles, ce qui aboutit à une diminution de la pollution en matière de rejets domestiques et industriels. Aujourd'hui, le pays compte environ 153 stations d'épurations en exploitation par l'ONA réparties à travers tout le territoire national avec une capacité de l'ordre de 10 359 462 EH. La quantité d'eau épurée par ces stations est de 252 millions m³/an (**ONA, 2019**).

L'objectif de cette étude consiste à suivre la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux usées brutes et épurées de la STEP de Beni Mered, afin de déterminer l'efficacité du traitement biologique par les boues activées et d'étudier la résistance des bactéries isolées à partir de l'eau épurée et cela dans une perspective de réutilisation agricole et/ou de la protection des milieux naturels récepteurs.

Partie

Bibliographique

I. GENERALITES SUR LES EAUX USEES

Nous entendons souvent parler d'eau usée sans pour autant savoir la définir réellement, ce chapitre nous permettra donc de définir les eaux usées, de les catégoriser, de connaître leurs caractéristiques et les différentes méthodes de leur épuration.

I.1. DEFINITION

Les eaux usées sont toutes les eaux des activités domestiques, agricoles et industrielles chargées en substances toxiques qui parviennent dans les canalisations d'assainissement, englobent également les eaux de pluies et leur charge polluante (**Dugniolle, 1980 ; Glanic et Benneton, 1989**).

Ce sont des eaux fortement chargées en substances qui peuvent être sous forme solide ou dissoute et qui rendent leur qualité très médiocre. Elles exigent une épuration avant leur rejet dans le milieu naturel (**Bourrier, 2008**).

I.2. ORIGINE DES EAUX USEES

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

Eaux usées domestiques

Sont essentiellement porteuses de pollutions organiques. Elles se répartissent en deux catégories :

- Eaux « ménagères » : des salles de bain et des cuisines qui sont généralement chargées de substances biodégradables, de détergents, de produits nettoyants, désinfectants ainsi que de pesticides pour usage domestique. Ces eaux peuvent aussi contenir des polluants cosmétiques et médicamenteux.
- Eau « vannes » : comprenant les rejets de toilettes. Ces dernières sont chargées de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux (**Elskens, 2010. Pons et al., 2008**).

Eaux usées industrielles

L'industrie est responsable de la moitié des rejets polluants organiques et de la quasi-totalité des rejets toxiques. Les pollutions industrielles de l'eau sont dues à des rejets de matières en suspensions, de matières organiques, de produits azotés ou phosphorés, de

produits toxiques (**Schmidt, 2005**).

Les eaux résiduaires d'origine industrielle ont généralement une composition plus spécifique et directement liée au type d'industrie considérée. Indépendamment de la charge de la pollution organique ou minérale, de leur caractère putrescible ou non, elles peuvent présenter des caractéristiques de toxicité propres liées aux produits chimiques transportés (**Rodier et al., 2005**).

Eaux usées d'origine agricole

Dans le contexte d'une agriculture performante et intensive, ce sont des eaux qui ont été polluées par des substances utilisées dans le domaine agricole. (**Grosclaude , 1999**).

La pollution agricole provient souvent des engrais, des produits phytosanitaires (herbicides et pesticides), sans compter les déjections animales qui accompagnent les élevages intensifs, ou encore les accumulations de métaux lourds provenant des compléments alimentaires des animaux d'élevages et des résidus d'antibiotiques utilisés contre les infections animales ou pour favoriser leur croissance (**Schmidt, 2005**).

Eaux pluviales

Ce sont des eaux de ruissellement qui se forment après une précipitation. Elles peuvent être particulièrement polluées surtout en début de pluie par deux mécanismes le lessivage des sols et des surfaces imperméabilisées (**Rodier et al., 2005**).

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 DE L'EAU

La pollution de l'eau est due à sa contamination par des corps étrangers tels que des microorganismes, des produits chimiques, des déchets industriels ou autres. Ces substances et corps étrangers dégradent la qualité de l'eau et la rendent impropre aux usages souhaités (**Ramade, 1984**).

I.4. DIFFERENTS TYPES DE POLLUTION

Les différents types de pollution sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau I. Différents types de pollution de l'eau

Type de pollution		Nature	Sources
Physique	Pollution Thermique	Rejets d'eau chaude	Centrales thermiques, nucléaire
	Pollution mécanique	Matières en suspension MES. Particules de charbon, sable, limons...	Les rejets industriels. L'eau issue de carrières ou de chantiers
	Pollution radioactive	Radio-isotopes	Installations et centrales nucléaires Traitement des déchets radioactives
Chimique	Organique (Hydrocarbures, Pesticides)	Pétrole brute et dériver. Insecticides, fongicides, herbicides	Industrie pétrolière et transportes Agriculture Industriels
	Minérale (Métaux lourds, Substances minérales)	Mercure, Zinc, Plomb Eléments traces métalliques	Rejets industriels et domestiques Agriculture
Microbiologique		Bactéries Virus Champignons	Rejets urbains Elevages Secteur agro-alimentaire
Autre composant organique de synthèse		Nombreuses molécules	Activité industriels

(Baumont, 2005 ; Elskens, 2010 ; Budenne et Lesbsir, 2012)

I.5. PARAMETRES DE MESURE DE LA POLLUTION

I.5.1. Paramètres physiques

Température(T)

La température agit comme un facteur physiologique sur le métabolisme de croissance des microorganismes vivants dans l'eau. Elle joue un rôle important dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels (Rodier et al., 2005).

✚ Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH est l'un des paramètres les plus importants de la qualité de l'eau. La mesure du pH des eaux usées donne une indication sur l'alcalinité ou l'acidité.

Il est important pour la croissance des micro-organismes qui ont généralement un pH optimal variant de 6,5 à 7,5. Ce facteur est considéré comme indicateur de plusieurs activités biochimiques, dont la photosynthèse et la biodégradation de la matière organique (**El Hachemi, 2012**).

✚ Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique est probablement l'une des plus simples et des plus importantes pour le contrôle de la qualité des eaux usées. Elle traduit le degré de minéralisation globale, elle nous renseigne sur le taux de salinité. Elle est mesurée en millisiemens par centimètre (**Belghyti et al., 2009**).

I.5.2. Paramètres chimiques

✚ Matières en suspension (MES)

Représentent les matières qui ne sont pas à l'état dissous, elles sont organiques (sable, limon, argile) ou minérales (produit de décomposition des matières végétales ou animale, les micro-organismes) et permettent une bonne évaluation du degré de pollution d'une eau (**Metahri, 2012**). Les MES s'expriment par la relation suivante

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

- ✓ MVS : Matières volatiles en suspension
- ✓ MMS : Matières minérales

✚ Matières volatiles en suspension (MVS)

Représentent la fraction organique obtenue par calcination de MES à 52 C° pendant 2 heures. La différence de poids entre les MES à 105°C et les MES à 525°C donne la « perte au feu » et correspond à la teneur en MVS en (mg/l) d'une eau (**Metahri, 2012**).

✚ Matières minérales (MMS)

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 (Metahri, 2012).

✚ Oxygène dissous (OD)

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

✚ Azote

L'azote présent dans l'eau peut avoir un caractère organique ou minéral.

L'azote organique est principalement constitué par des composés tels que des protéines, des polypeptides, des acides aminés de l'urée. Le plus souvent ces produits ne se trouvent qu'à de très faibles concentrations.

Quant à l'azote minéral (ammoniacal, nitrates, nitrites), il constitue la majeure partie de l'azote total. Azote global = Azote Kjeldahl + Nitrites + Nitrates. L'azote hydrolysable et l'azote ammoniacal constituent l'azote Kjeldahl NTK qui est la somme de Norg. + N- NH₄ (Rodier et al., 2005).

✚ Nitrites (NO₂⁻)

Les ions nitrites (NO₂⁻) sont un stade intermédiaire entre l'ammonium (NH₄⁺) et les ions nitrates (NO₃⁻), les bactéries nitrifiantes (nitrosomonas) transforment l'ammonium en nitrites. Cette opération, qui nécessite une forte consommation d'oxygène, est la nitratisation. Les nitrites proviennent de la réduction bactérienne des nitrates appelée dénitrification (Rodier et al., 2005).

✚ Nitrates (NO₃⁻)

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote organique dans l'eau. Les bactéries nitratâtes (nitrobacters) transforment les nitrites en nitrates. Les nitrates ne sont pas

toxiques ; mais des teneurs élevées en nitrates provoquent une prolifération algale qui contribue à l'eutrophisation du milieu. (Rodier et al., 2009).

Phosphore

Le phosphore est présent dans les eaux usées, soit sous forme minérale ortho-phosphates isolés, soit sous forme de polyphosphates ou de phosphore organique. Ce phosphore est incorporé essentiellement dans les acides nucléiques, les poly phospholipides et les polymères des parois bactérienne dans certains cas particulier, il peut être stocké dans la cellule sous des formes diverses (déphosphatation biologique) (Degremont, 2005).

Métaux lourds

Les métaux lourds sont particulièrement inquiétants en raison de leur toxicité cumulative, de phénomène de concentration ou de transformation dans le milieu aquatique, Les éléments cités dans la littérature comme étant les plus dangereux sont : le plomb (Pb), l'arsenic (As), le mercure (Hg), le cadmium (Cd) et le nickel (Ni) (Vilagines, 2003).

Demande Chimique en Oxygène (DCO)

La Demande Chimique en Oxygène (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 (Metahri, 2012).

Demande Biochimique en Oxygène (DBO)

La DBO₅ comme étant la quantité d'oxygène consommée par les bactéries, à 20°C à l'obscurité et pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablementensemencé, temps qui assure l'oxydation biologique d'une fraction de matière organique carbonée. Ce paramètre mesure la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction des matières organiques grâce aux phénomènes d'oxydation par voie aérobie (Metahri, 2012).

Biodégradabilité

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, tel que, $K = DCO / DBO_5$.

- ✓ Si $k < 1,5$: cela signifie que les matières oxydables sont constituées en grande partie de matières fortement biodégradable.
- ✓ Si $1,5 < K < 2,5$: cela signifie que les matières oxydables sont moyennement biodégradables.
- ✓ Si $2,5 < K < 3$: les matières oxydables sont peu biodégradables.
- ✓ Si $K > 3$: les matières oxydables sont non biodégradables (**Metahri, 2012**).

I.5.3. Paramètres biologiques

I.5.3.1. Germes indicateurs d'une contamination fécale (saprophytes)

Coliformes totaux (CT)

Les Coliformes totaux sont des bacilles Gram-négatifs, aérobies ou anaérobies facultatifs, non sporulés, oxydase-négatifs, capables de développer en présence de sels biliaires ou d'agents tensio-actifs qui fermentent le lactose en produisant de l'acide, du gaz et de l'aldéhyde à $35,0 \pm 0,5^\circ \text{C}$ pendant 24-48 heures, et qui peuvent présenter une activité d'enzyme β – galactosidase (**Brasilia, 2013**).

Coliformes fécaux (CF)

Les coliformes fécaux sont un sous-groupe de bactéries coliformes qui fermentent le lactose à $44,5 \pm 0,2^\circ \text{C}$ sous 24 heures (**Brasilia, 2013**). Il s'agit de coliformes thermotolérants qui produisent de l'indole dans l'eau peptonée contenant du tryptophane à 44°C et sont souvent désignés sous le nom d'*Escherichia coli* (**Hacene, 2016**).

Streptocoques fécaux (SF)

Les streptocoques fécaux appartiennent à la famille des *Streptococcaceae*, Cocci à Gram positif, en grande partie d'origine humaine. De forme sphérique ou ovoïde, ils se présentent en chaînettes plus ou moins longues, non sporulées, aéro-anaérobies facultatives, ne possédant ni catalase ni oxydase (**Lebres, 2002**). Ils possèdent le caractère homofermentaire avec production d'acide lactique sans gaz (**Leclerc et al., 1995**). Ils sont néanmoins considérés comme indicateurs d'une pollution fécale et leur principal intérêt réside dans le fait qu'ils sont résistants à la dessiccation (**OMS, 2004**).

✚ Spores Anaérobies Sulfito-Réducteurs (ASR)

Ce sont des bacilles Gram positifs, catalase négatif, immobiles, anaérobies stricts, capsulés ou sporulés, fermentant le glucose et le lactose et capable de réduire le sulfite de sodium en sulfure (**Hasly et Leclerc, 1993**). Les Clostridium sulfito-réducteurs sont souvent considérés comme des témoins de pollution fécale. La forme spore, beaucoup plus résistante que les formes végétatives des coliformes fécaux et des streptocoques fécaux, permettraient ainsi de détecter une pollution fécale ancienne ou intermittente (**Rodieret *al.*, 2005**).

I.5.3.2. Germes Pathogènes

✚ Staphylocoque

Les staphylocoques sont des Cocci sphérique de 0.5 à 2.5 μm de diamètre qui se divisent sur plusieurs plans pour former des amas régulières ou irrégulières en grappe de raisin. Ce sont des bactéries à Gram positif, catalase positif, aéro-anaérobies facultatifs, immobiles. Elles fermentent les sucres en produisant de l'acide lactique (**Leclerc *et al.*, 1995**).

✚ Salmonelles

Salmonella fait partie de la famille des *Enterobacteriaceae*. Cette famille se compose de Bacilles à Gram Négatifs (BGN), non sporulés, mobiles par ciliature péritriche ou immobiles, aéro-anaérobie facultatifs, dépourvus d'oxydase, dégradant les glucides par voie fermentative, possédant une nitrate réductase qui réduit les nitrates au stade de nitrites (**Lebres, 2002**).

Les salmonelles peuvent donc être présentes dans l'eau des égouts agricoles et domestiques les eaux douces, y compris les eaux potables et les nappes phréatiques, ainsi que l'eau de mer (**Rodier *et al.*, 2009**).

✚ Vibrions Cholériques

Ce sont des bactéries qui appartiennent à famille des *Vibrionaceae* est constituée de bacille Gram négatif incurvé, assez court (1,5 à 3 μm), très mobile par cil polaire monotriche, non capsulé, non sporulé, aérobie préférentiel anaérobie facultatif. Sa température optimale de développement est comprise entre 30 et 40°C mais il résiste à 4°C (**Janick Rey, 1994**). Dans les pays où le choléra a pratiquement disparu, il est rare que la recherche du vibron cholérique dans les eaux présente un intérêt (**Rodier *et al.*, 2009**).

✚ *Pseudomonas aer*

Le genre *Pseudomonas*, de la famille des *Pseudomonadaceae*, regroupe des bactéries allongées (bacilles) à Gram négatif. Dépourvues de spores et de capsules, elles sont mobiles grâce à la présence d'un flagelle monotriche polaire. Elles sont mésophiles capable de se développer dans des températures allant de +4°C à +45°C avec une température optimale de croissance entre 30 et 37°C (Sefraoui, 2015).

Elles peuvent produire des pigments, tels que la pyocyanine (vert-bleue) et la pyorubrine (jaune-vert) fluorescentes (Enoch et al., 2004 ; Willcox, 2007).

I.5.3.3. Principales maladies à transmission hydrique

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

Tableau II. Maladies d'origine hydrique et leurs agents responsables

Origine	Agents pathogènes	Maladies
Bactériennes	<i>Vibrio cholerae</i>	Choléra
	<i>Salmonella Typhi et Paratyphi</i>	Fièvre typhoïde et paratyphoïde
	<i>Shigella sp</i>	Dysenteries Bacillaire (shigelloses)
	<i>Legionella pneumophila</i>	Pneumopathies
	<i>Shigella sp, Escherichia coli</i>	Diarrhée
	<i>Campylobacter, Yersinia enterocolitica, Escherichia coli, Shigella</i>	Gastro-entérites
Viral	<i>Poliovirus</i>	Poliomyélite
	<i>Virus d'hépatite A</i>	Hépatite A
	<i>Virus d'hépatite E</i>	Hépatite E
	<i>Virus d'hépatite C</i>	Hépatite C
	<i>Rotavirus, Adénovirus, virus de Norwalk</i>	Gastro-entérites
Parasitaire	<i>Entamoeba histolytica</i>	Dysenterie amibienne
	<i>Giardia lamblia, Cryptosporidium</i>	Gastro-entérites

(Bontoux, 1993 ; Prescott et al, 2003)

II. PROCÉDES DE TRAITEMENT DES EAUX USEES

L'objectif derrière l'épuration des eaux usées est l'obtention d'une eau épurée pouvant être évacuée sans danger pour la santé humaine et pour l'environnement cela dans le respect des normes fixées par la législation.

II.1 DEFINITION DE LA STATION D'EPURATION (STEP)

C'est une usine de dépollution et une association normalement judicieuse, de plusieurs étapes pour satisfaire les exigences des normes de rejet (**Cardot,2010**).

Une STEP est généralement installée à l'extrémité d'un réseau de collecte. Elle peut utiliser plusieurs processus, physiques et biologiques. Le plus souvent, le processus biologique car il fait intervenir des bactéries capables de dégrader les matières organiques. La taille et le type des dispositifs dépendent du degré de pollution des eaux à traiter (**Bedouh, 2014**).

II.2 ETAPES D'EPURATION DES EAUX USEES

La figure suivante résume les différentes étapes d'épuration des eaux usées.

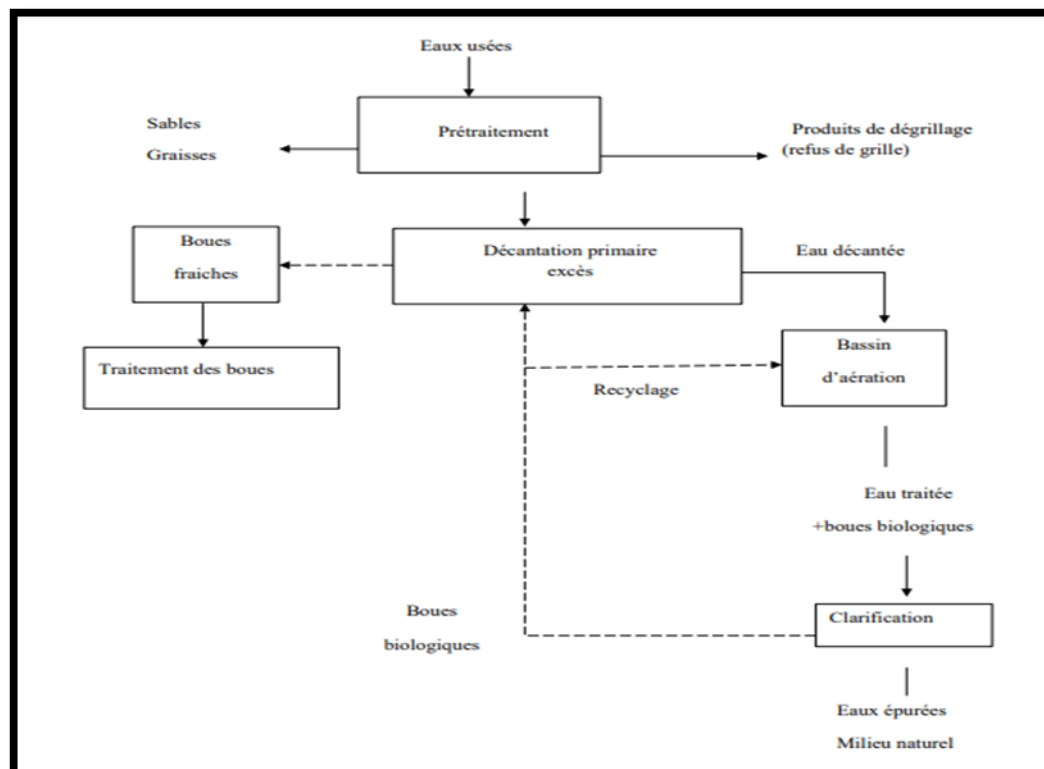


Figure 1 : Etape de traitement d'une station d'épuration par boues activées (ONA 2003)

II.2.1 Prétraitement

Dégrillage

Au cours du dégrillage, les eaux usées passent au travers d'une grille dont les barreaux, plus ou moins espacés, retiennent les matières les plus volumineuses et flottantes charriées par l'eau brute, qui pourraient nuire à l'efficacité des traitements suivants ou en compliquer leur exécution. Le dégrillage permet aussi de protéger la station contre l'arrivée intempestive des gros objets susceptibles de provoquer des bouchages dans les différentes unités de l'installation (**Metahri, 2012**).

Dessablage

Le dessablage a pour but d'extraire des eaux brutes les graviers, sables et particules minérales plus ou moins fins contenus dans les eaux usées, ainsi que les filasses de façon à éviter les dépôts dans les canaux et conduits, à protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion. Le domaine usuel du dessablage porte sur particules de granulométrie égale ou supérieure à 200 μ m, voire 300 μ m (**Degremont, 2005**).

Déshuilage

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. Elles permettent de faire remonter rapidement les graisses en surface (les graisses sont hydrophobes). Leur élimination se fait ensuite par raclage de la surface (**Degremont, 2005**).

II.2.2 Traitement primaire

Le traitement primaire est destiné pour l'élimination des matières en suspension facilement décantables (**Grosclaude, 1999**). Il fait appel à des procédés physiques naturels, filtration et décantation plus ou moins aboutie, éventuellement assortie de procédés physicochimiques, tels que la coagulation- floculation (**Metahri, 2012**).

Cette étape vise à parfaire les prétraitements. Elle s'effectue dans un décanteur canal ou lamellaire en tête de STEP et permet de retenir environ 50 à 70% de MES contenue dans les eaux usées (**Ouanouki, 2014**).

II.2.3 Traitement secondaire

La décantation primaire n'élimine que de 30 à 35% de la charge de pollution. Pour constituer un traitement physico-chimique, il est plus commun de le faire suivre par un

traitement biologique intensif mettent les eaux décantées en présence d'une masse microbienne très dense (**Beaudry, 1984**).

Les traitements secondaires également appelés traitements biologiques visent à dégrader la matière organique biodégradable contenue dans l'eau à traiter. Des micro-organismes mis en contact avec l'eau polluée assimilent la matière organique qui, leur sert de substrat de croissance. L'ensemble de la pollution avec les microorganismes vivants forme la liqueur mixte ou boue biologique contenue dans des bassins de traitement biologique. En règle générale, l'élimination complète de la pollution organique de ces bassins se déroule en conditions aérées par des souches aérobies strictes ou facultatives. Plusieurs procédés existent à ce stade du traitement biologique. Ce sont les procédés à culture en suspension ou procédés à boues activées, les procédés à culture fixée (disques biologiques rotatifs, lits bactériens, etc.), les procédés à décantation interne (lagunage), les techniques d'épandage-irrigation, etc... (**Metahri, 2012**).

Dans cette étude nous sommes intéressées au traitement aérobie: les boues activées.

Boues activées

Au niveau des installations urbaines, le procédé utilisé est généralement une digestion aérobie, appelée aussi procéder à boues activée (**Ouanouki, 2014**).

Le traitement par boues activées est constitué des trois éléments de bases suivantes :

- Un réacteur dans lequel les microorganismes responsables de l'épuration sont maintenus en suspension et aéré.
- Une séparation solide-liquide réalisée habituellement dans un décanteur secondaire ou clarificateur.
- Un dispositif de recirculation des boues récupérée dans le clarificateur vers le réacteur (**Degremont, 2005**).

Le réacteur aux boues activées est un vase de cultures bactérienne fonctionnant en contenu, les eaux usées décantées fournissent toutes les matières nutritives nécessaires, y compris l'azote et le phosphore. Et les boues recirculées assurent une abondance de micro-organismes. Le milieu étant suffisamment oxygéné. Pour obtenir le haut rendement recherché, il faut une recirculation importante de la biomasse (**Beaudry, 1984**).

II.2.4 Traitements tertiaires

Appelés aussi les traitements complémentaires, souvent considérés comme facultatif ou complémentaire permettent d'affiner ou d'améliorer le traitement secondaire. De telles opérations sont nécessaires pour assurer une protection complémentaire de l'environnement récepteur ou une réutilisation de l'effluent en agriculture ou en industrie. Les traitements tertiaires visent à améliorer la qualité générale de l'eau (Metahri, 2012).

Désinfection

La désinfection est un traitement qui permet de réduire ou d'éliminer les micro-organismes susceptibles. Ce traitement n'inclut pas nécessairement la stérilisation, qui est la destruction de tous les organismes vivants (Desjardins, 1997).

II.3 LES NORMES DE REJET

Conformément aux recommandations de l'organisation mondiale de la santé (OMS). Les normes de rejet des eaux usées en Algérie sont résumées dans le tableau III:

Tableau III : Normes de rejet appliquées en Algérie

Paramètre	Norme
Température (°C)	<30
Potentiel d'Hydrogène (pH)	6.5-8.5
Oxygène dissous (mg /L)	5
DBO ₅ (mg /L)	30
DCO (mg /L)	90
MES (mg /L)	120
Azote total (mg /L)	50
Phosphore total (mg /L)	2
Hydrocarbures (mg /L)	10
Détergents (mg /L)	1
Huiles et graisses (mg /L)	20
Zinc (mg /L)	2
Chrome (mg /L)	0.1

(Jora 2006, 2013., OMS, 2004)

Tableau IV : Normes de rejet des paramètres microbiologiques

Paramètre	Normes
Coliformes Totaux	10^3 - 10^7
<i>E. coli</i>	10 - 10^6
Entérocoques	10 - 10^5
Salmonelles	0-10
Vibrion cholériques	0-10

(Jora 2006, 2013., OMS, 2003)

III. RESISTANCE AUX ANTIBIOTIQUES

III.1 DEFINITION DES ANTIBIOTIQUES

Les antibiotiques sont définis comme toute substance antibactérienne d'origine biologique, synthétique ou semi synthétique (Mohr, 2016), capables d'inhiber sélectivement certaines voies métaboliques des bactéries, sans exercer habituellement d'effets toxiques pour les organismes supérieurs (Nauciel et Vildé, 2005). Ils sont bactériostatiques ou bactéricides à faible dose (Mohr, 2016).

Aucun antibiotique n'est efficace contre toutes les bactéries. Certains agissent contre un petit nombre d'espèce, tandis que d'autres sont actifs contre un large spectre d'organismes incluant aussi bien les bactéries Gram-positives que les Gram négatives (Singleton, 2005).

Selon Gaudy et al (2005), l'action d'un antibiotique est le résultat des interactions organisme- antibiotique, d'une part et antibiotique-bactéries d'autre part. On peut dire que pour être actif un antibiotique doit :

- ✓ Pénétrer jusqu'à sa cible bactérienne.
- ✓ Ne pas être inactivé.
- ✓ Être capable de se lier à sa cible.

L'antibiotique exercera son action qui pourra être de deux types :

- ✓ Bactériostatique : s'il n'y a qu'une simple inhibition de la croissance.
- ✓ Bactéricide : s'il y a la mort de la bactérie.

III.2 MODE D'ACTION

Les antibiotiques agissent à des sites différents au niveau des bactéries : la paroi bactérienne, la membrane cytoplasmique, les ribosomes, la synthèse de l'ADN etc. Ces mécanismes d'action font entrer en jeu des interactions entre antibiotique et cible d'action. La connaissance des mécanismes d'action des antibiotiques est indispensable pour la connaissance des mécanismes de résistance des bactéries donc une meilleure utilisation des antibiotiques (Lullman et al., 1998).

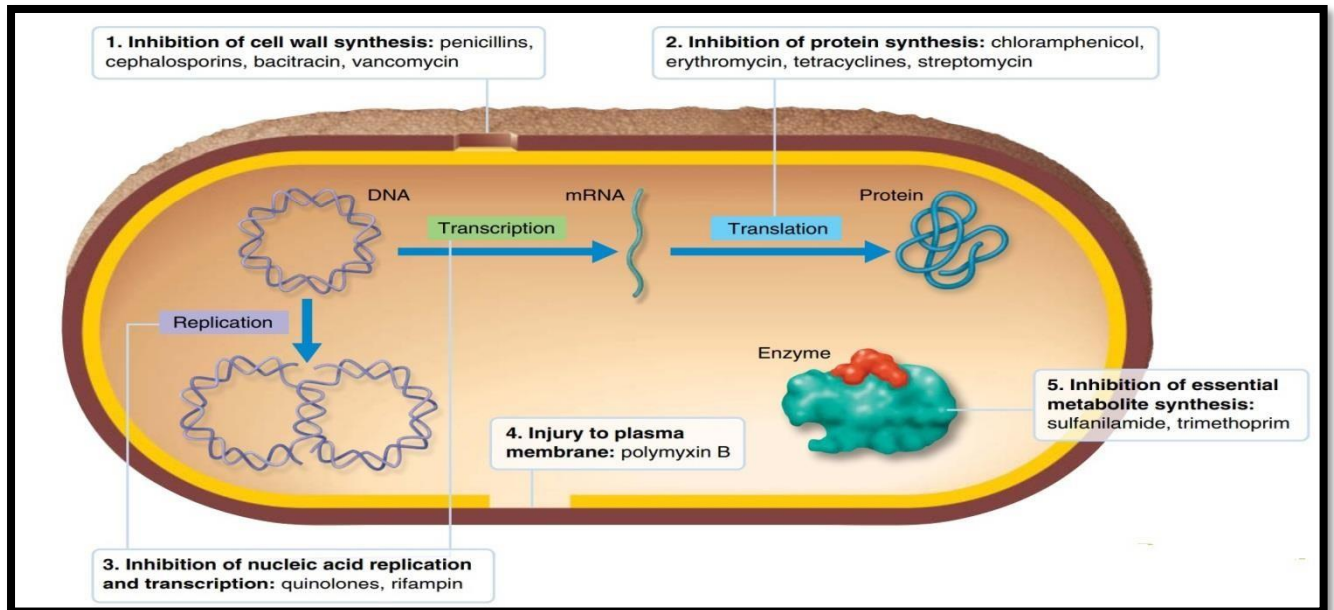


Figure 2 : Mécanisme d'action des antibiotiques (Tortora *et al.*, 2018)

III.3 RESISTANCE BACTERIENNE

On parle de résistance d'une bactérie à un antibiotique lorsque cette bactérie est capable de continuer à se développer en présence de l'antibiotique (Haskouri, 2002). Il existe deux types de résistance :

- ✚ La résistance naturelle
- ✚ La résistance acquise

III.4 BACTERIES MULTIRESISTANTES DANS L'EAU

Les antibiotiques sont régulièrement retrouvés dans des écosystèmes naturels et peuvent jouer un rôle dans la sélection des bactéries multirésistantes. Cette contamination de l'environnement par les antibiotiques peut survenir de plusieurs manières, la première étant la contamination directe de l'environnement des élevages de bétails et de poissons dans lesquels les antibiotiques sont utilisés, le deuxième mode de contamination se fait via les égouts. En effet, les antibiotiques utilisés en médecine humaine et leurs métabolites sont évacués dans les égouts et peuvent être retrouvés dans les boues et les effluents des stations d'épuration, qui peuvent eux-mêmes être utilisés pour l'arrosage ou la fertilisation des terres agricoles. Ces antibiotiques sont ensuite retrouvés dans les eaux de surfaces ou les eaux souterraines où ils peuvent favoriser l'émergence de souches bactériennes multirésistantes (Drieux-Rouzet *et al.*, 2014).

Partie Expérimentale

I. MATERIEL ET METHODES

Notre étude s'est étalée sur une période allant du 5 avril jusqu'au 6 juin de l'année 2021. Les analyses physico-chimiques ont été réalisées au niveau de laboratoire de la station d'épuration de Beni Mered. Les analyses microbiologiques ont été effectuées au sein du laboratoire d'hygiène de la wilaya de Blida.

I.1 Description du site d'étude

La station de Beni Mered est située à l'Est de la route national N°1 à proximité de l'oued Béni Azza et fait partie des installations de protection des cours d'eau de la wilaya de Blida contre la pollution. Cette station est à boues activées construite sur six hectares et traite les eaux usées de la ville de Blida. Sa capacité nominale en 2015 était de 383 000 EH, pour un débit de pointe de 51 560 m³/j (Figures 3 et 4).



Figure 3 : Situation géographique de la STEP (google maps).

La station d'épuration de Beni Mered est alimentée pas deux postes de refoulement (PR) (Tableau V):

- Le PR 18 avec un débit de 4000 m³/h pour l'horizon 2015 et 6 200 m³/h l'horizon 2030.
- Le PR 22 avec un débit nominale de 800 m³/h pour l'horizon 2015 et 1 000 m³/h pour l'horizon.

Tableau V : Données de base de la STEP de Beni Mered

Capacité Nominale	383 000 EH
Débit journalier	39 500 m ³ /j
Débit horaire moyen	1 647 m ³ /h
Débit horaire point temps sec	3 310 m ³ /h

(Veolia, 2017)



Figure 4 : Station d'épuration de Beni Mered (photo originale, 2021)

Le traitement des eaux usées au sein de la station d'épuration (Figure 5) de Beni Mered se fait en cinq étapes successives :

- ✓ Prétraitement : dégrillage, déshuilage, déssablage.
- ✓ Traitement primaire.
- ✓ Traitement biologique.
- ✓ Traitement secondaire.
- ✓ Traitement des boues : épaissement, stabilisation, déshydratation.

Il existe trois files de traitement dans la STEP de Beni Mered, chaque file se compose en :

- ✓ Un décanteur primaire.
- ✓ Bassin d'aération.
- ✓ Clarificateur.

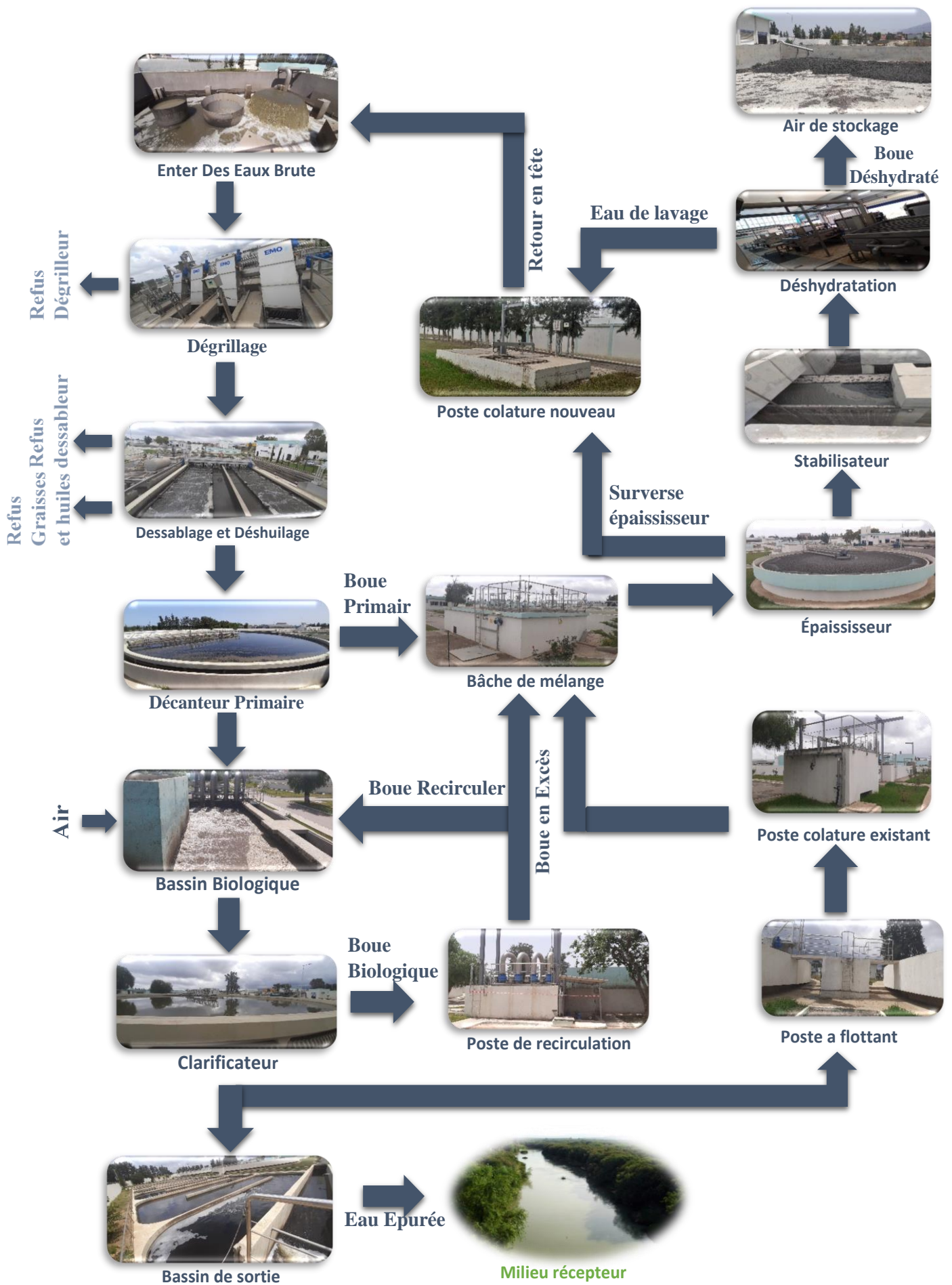


Figure 5: Etapes de Traitement des Eaux Usées STEP Beni Mered

I.2 Méthodes

I.2.1 Echantillonnage

L'étude s'est déroulée du 05 avril jusqu'au 06 juin 2021. Au total 8 échantillons ont été prélevés.

L'échantillonnage a été fait manuellement (à l'aide d'une canne) d'une manière instantanée pour les paramètres physico-chimiques et microbiologiques de l'eau brute et de l'eau épurée.

I.2.2 Mode de prélèvement

Deux points de prélèvement ont été choisis : un prélèvement de l'eau brute à l'entrée de la station et un prélèvement de l'eau épurée à la sortie du clarificateur (voir Figures 6 et 7).

Ces deux points ont fait l'objet :

- D'analyses physico-chimiques : Les prélèvements sont faits dans des flacons en polyéthylène (plastique) d'un litre.
- D'analyses bactériologiques : Les prélèvements sont faits dans des flacons en verre stériles de 500 ml.

L'ensemble de ces prélèvements ont été transportés directement dans une glacière à température de 4 °C. L'analyse bactériologique a été effectuée le plus rapidement possible, dans un délai ne dépassant pas les 8 heures.



Figure 6 : prélèvement d'eau brute
(Originale,2021)



Figure 7 : Prélèvement d'eau épurée
(Originale, 2021)

I.2.3 Analyses physico-chimiques

Durant cette étude et en fonction de la disponibilité des réactifs, nous avons analysé les paramètres suivants :

- ❖ La température.
- ❖ Le potentiel d'hydrogène (pH).
- ❖ La conductivité électrique.
- ❖ L'oxygène dissous.
- ❖ Les matières en suspension.
- ❖ L'azote total.
- ❖ Le phosphore total.
- ❖ La demande chimique en oxygène.
- ❖ La demande biochimique en oxygène.

I.2.3.1 Détermination de la température

La mesure de la température est faite au laboratoire à l'aide d'un thermomètre incorporé à un pH-mètre de type sens ION (Hach) trempée soigneusement dans la prise d'essai étalonné avant chaque manipulation.

➤ Expression des résultats

La température est exprimée en degré Celsius (C°).

I.2.3.2 Mesure du potentiel d'hydrogène (pH) NF T 90-008

La mesure du pH est effectuée par un pH mètre de type sens ION (Hach) électronique reliée à une électrode en verre. Nous avons procédé comme suit :

- Allumer le pH-mètre et rincer plusieurs fois l'électrode avec de l'eau distillée.
- Introduire un volume de l'échantillon d'eau à analyser dans bécher.
- Etalonnage de l'appareil : L'électrode a été d'abord étalonnée dans une solution tampon de pH égale à 7 et à 4 puis introduit dans l'eau à analyser.
- On met l'électrode dans le bécher qui contient l'eau à analyser.
- La lecture est faite après stabilisation de la valeur affichée du pH sur l'enregistreur électronique.

➤ Expression des résultats

L'appareil donne la valeur du pH correspondant.

I.2.3.3 Mesure de la conductivité électrique NF EN 27888 /Norme ISO 7888

La conductivité électrique a été déterminée à l'aide d'un conductimètre électrique HACH HQ430d qui permet de mesurer le courant conduit par les ions présents dans l'eau. Nous avons procédé comme suit :

- Allumer le conductimètre et rincer plusieurs fois la sonde du conductimètre avec de l'eau distillée.
- Introduire un volume de l'échantillon l'eau à analyser (eau brute et eau épurée) dans un bécher.
- Entrer l'électrode dans l'échantillon et lire le résultat sur l'afficheur de conductivité mètre

➤ Expression des résultats

Les résultats sont exprimés en microSiemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

I.2.3.4 Détermination de la concentration en oxygène dissous EN 25813 / EN 25814

C'est la détermination de l'oxygène dissous à l'aide d'un oxymètre HQ 430d. Nous avons procédé comme suit :

- Allumer l'oxymètre.
- Rincer l'électrode avec l'eau distillée.
- Prendre un bécher et verser l'échantillon.
- Entrer l'électrode dans l'échantillon et lire le résultat sur l'afficheur de l'oxymètre.

➤ Expression des résultats

Les résultats sont exprimés en mg d'oxygène par litre (mg/l).

I.2.3.5 Détermination des matières en suspension (méthode par filtration) NF EN 872-2005

A l'aide d'un équipement de filtration sous vide ou sous pression, l'échantillon est filtré sur un filtre en fibres de verre. Le filtre est ensuite séché à $(105 \pm 2) ^\circ\text{C}$ et la masse du résidu retenu sur le filtre est déterminée par pesée (AFNOR, 2005). Nous avons procédé comme suit :

- Laisser les échantillons s'équilibrer à température ambiante.

- Peser à l'aide de la balance le filtre à 0.1 mg.
- Placer le filtre (la partie lisse en bas) dans l'entonnoir du dispositif de filtration et connecter à un dispositif d'aspiration sous vide.
- Agiter l'échantillon et transférer immédiatement un volume convenable d'échantillon dans une éprouvette graduée.
 - Pour les eaux brutes, le volume versé doit être compris entre 25 et 100 ml.
 - Pour les eaux épurées, le volume doit être compris entre 250 et 1000 ml.
- Filtrer l'échantillon, puis rincer l'éprouvette graduée avec environ 20 ml d'eau distillée et utiliser cette portion pour laver le filtre. Rincer les parois internes de l'entonnoir avec un autre volume de 20 ml d'eau distillée
- Libérer le dispositif sous vide (ou sous pression) lorsque le filtre est pratiquement sec.
- Retirer avec précaution le filtre de l'entonnoir à l'aide de pinces à extrémité plates.
- Placer le filtre sur le support de séchage et le sécher dans l'étuve à $(105 \pm 2) ^\circ\text{C}$ pendant au moins 1 h et au plus 14 h à 16 h.
- Retirer le filtre de l'étuve puis le peser.

➤ Calcul et expression des résultats

La teneur en MES est calculée d'après l'expression suivante :

$$P = \frac{1000 * (M1 - M0)}{V}$$

Où :

- **P** : Teneur en matières en suspension en milligrammes par litre (mg/l).
- **M1** : La masse du filtre après filtration en milligrammes (mg).
- **M0** : La masse du filtre avant filtration en milligrammes (mg).
- **V** : Volume de l'échantillon en millilitre (ml).

I.2.3.6 Dosage de l'azote total

L'azote de composition organique et inorganique s'oxyde en présence de peroxydisulfate et se transforme donc en nitrate. Les ions nitrates réagissent dans une solution

d'acides sulfurique et phosphorique avec du diméthylphénol-2.6 en formant du nitrophénol. L'azote total est mesuré par la méthode kit Hach LCK 338/ LCK 238. Nous avons suivi le protocole suivant :

- Doser à la suite, consécutivement dans une éprouvette de réaction sèche : 0,5 ml d'échantillon, 2 ml de solution A, 1 tablette B pour les eaux brutes et 0,2 ml d'échantillon, 2,3 ml de solution A, 1 tablette B pour les eaux épurées.
- Fermer immédiatement et ne pas mélanger.
- Chauffer directement pendant 15 min avec le programme standard HT puis Laisser refroidir et ajouter 1 MicroCap C.
- Fermer l'éprouvette de réaction et mélanger jusqu'à ce que le lyophilisat se soit complètement dissous du MicroCap C et qu'il n'y ait aucune particule restante, ensuite ajouter dans le test en cuve 0,5 ml d'échantillon désagrégé et 0,2 ml de solution D jusqu'à qu'aucun dépôt ou agrégat ne soit observable, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et l'insérer dans le spectrophotomètre (DR3900).

➤ Expressions de résultats

Les résultats sont exprimés en mg/l.

I.2.3.7 Dosages de phosphore total

Les ions phosphate réagissent en solution acide avec les molybdate et antimoine pour donner un complexe de phosphore molybdate d'antimoine. Celui-ci est réduit par l'acide ascorbique en bleu de phosphore molybdène. Le phosphore total est mesuré par la méthode kit Hach LCK 350/LCK 348. Nous avons procédé comme suit :

- Enlever délicatement la feuille de protection du DosiCap Zip détachable.
- Dévisser et ajouter 0,4 ml d'échantillon d'eau brute ou 0,5 ml pour les eaux épurées.
- Revisser en dirigeant le cannelage vers haut, secouer et chauffer dans le thermostat pendant 30 min à 120°C.
- Ajouter dans la cuve une fois refroidie 0,5 ml d'eau brute du réactif B ou 0,2 ml d'eau épurée.
- Visser avec un DosiCap C gris sur la cuve.
- Mélanger le contenu de la cuve en la retournant plusieurs fois de suite jusqu'à ce que le lyophilisat se soit complètement dissous.

- Retourner de nouveau après 10 minutes bien nettoyer l'extérieur de la cuve et l'insérer dans le spectrophotomètre (DR3900).

➤ **Expression de résultat**

Les résultats sont exprimés en mg/l.

I.2.3.8 Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO), c'est un paramètre important en traitement des eaux. Sa représente la quantité d'oxygène nécessaire pour oxydée une eau.

Les substances oxydables réagissent avec le bichromate de potassium sulfurique, en présence de sulfate d'argent. Le chlorure est masqué avec du sulfate de mercure. La coloration verte du Cr³⁺ sera déterminée avec un spectrophotomètre.

La DCO est dosée par la méthode de Kit hach LCK 514 selon le protocole suivant :

- Mélanger le contenu pour avoir une solution homogène.
- Pipetter soigneusement 2 ml d'échantillon.
- Fermer et bien nettoyer l'extérieur de la cuve, homogénéisé.
- Chauffer dans le thermostat pendant 2 heures à 150 °C.
- Sortir la cuve chaude. Retourner soigneusement.
- Laisser refroidir à température ambiante.
- Bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer. (Les résidus doivent être complètement éliminés avant l'évaluation).
- Insérer la cuve dans le compartiment pour cuves et mesurer.

➤ **Expression des résultats**

La valeur de la concentration de DCO s'affichera directement sur l'écran du spectrophotomètre en mg/l.

I.2.3.9 Détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO₅)

La demande biochimique en oxygène (DBO₅), représente la mesure de l'oxygène consommé en cinq jours par un échantillon dilué avec une eau saturée en oxygène, placé dans une enceinte thermostatée à 20°C.

- Contrôler le pH de l'échantillon, dont le pH optimal doit être entre 6,5 et 7,5.
- Bien mélanger l'échantillon d'eau, le laisser brièvement reposer puis l'homogénéiser.
- Choisir le volume de l'échantillon qui correspond à la plage de mesure adéquate.

- Mesurer avec précision la quantité d'échantillon requise à l'aide d'une fiole jaugée adaptée et la verser dans le flacon d'échantillonnage (flacons bruns du DBO mètre).
- Le gaz carbonique (CO_2) qui produit par les microorganismes est absorbé par l'Hydroxyde de lithium placé dans la cupule.
- Ajouter l'inhibiteur de la nitrification ATH.
- Introduire un barreau magnétique dans chaque flacon pour assurer l'agitation et insérer le flacon dans un incubateur de DBO.
- Mettre le DBO mètre en marche à 20°C pendant 5 jours.

➤ **Expression des résultats**

Après 5 jours, on procède à la lecture.

I.2.4 Analyses bactériologiques

I.2.4.1 Préparation des dilutions

Afin de réduire le nombre des micro-organismes, des dilutions ont été réalisées pour permettre après incubation d'observer et de dénombrer les micro-organismes (figure 8).

La dilution est réalisée juste pour les eaux brutes (10^{-2}).

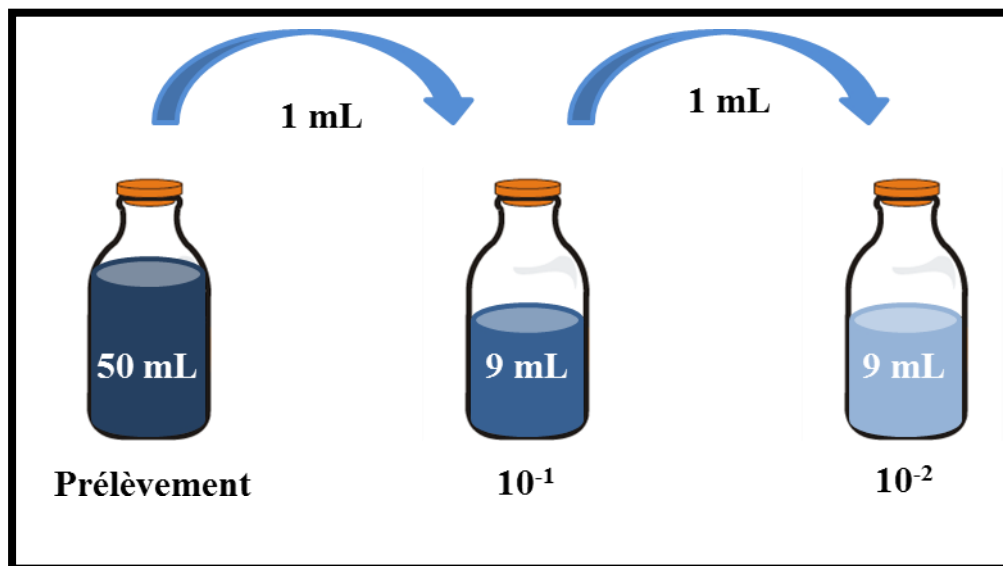


Figure 8 : Préparation de la dilution des eaux brutes (Originale, 2021)

I.2.4.2 Recherche et dénombrement des bactéries indicatrices de contamination fécale

A. Recherche et dénombrement des Coliformes

La recherche et le dénombrement des bactéries coliformes, coliformes fécaux dans les eaux en milieu liquide est réalisée par la technique du Nombre le Plus Probable (NPP) selon le protocole d'écrit par l'institut Pasteur (**Lebres et Mouffok, 2008**).

La technique en milieu liquide fait appel à deux tests consécutifs à savoir : (Figure 9)

- Le test de présomption : réservé à la recherche des Coliformes totaux.
- Le test de confirmation : encore appelé test de Mac Kenzie et réservé à la Recherche des Coliformes fécaux (thermotolérants) à partir des tubes positifs du test de présomption.

Test de présomption

Le dénombrement présomptif des coliformes totaux est réalisé sur bouillon lactosé au pourpre de bromocrésol (BCPL).

A partir de l'eau à analyser, porter aseptiquement :

- Un flacon contenant 50ml de milieu BCPL D/C muni d'une cloche de Durham avec 50 ml d'échantillon.
- 5 fois 10 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu BCPL D/C muni d'une cloche de Durham.
- 5 fois 1 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu BCPL S/C muni d'une cloche de Durham.

Chasser l'air éventuellement présent dans les cloches de Durham et bien mélanger le milieu et l'inoculum.

➤ Incubation

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

➤ Lecture

Les tubes considérés comme positif, représentant à la fois :

- Un dégagement gazeux (supérieur 1/10 de la hauteur de la cloche).
- Un trouble microbien accompagné d'un virage du milieu au jaune (ce qui constitue le témoin de la fermentation du lactose présent dans le milieu).

Ces deux caractères étant témoin de la fermentation du lactose dans les conditions

opératoires décrites. La lecture finale se fait selon les prescriptions de la table NPP.

Test de confirmation ou teste de Mac-Kenzie

Le test de confirmation ou test de Mac-Kenzie est basé sur la recherche de coliformes thermotolérants parmi lesquels on redoute surtout la présence d'*Escherichia coli*.

Les coliformes thermos tolérants ont les mêmes propriétés de fermentation que les coliformes mais à 44°C. *Escherichia coli* est un coliforme thermotolérant qui entre autres :

- Produit de l'indole à partir du tryptophane à 44°C.
- Donne un résultat positif à l'essai au rouge de méthyl.

Les tubes de BCPL trouvés positifs lors du dénombrement de coliformes totaux feront l'objet d'un repiquage dans des tubes contenant le milieu Schubert muni d'une cloche de Durham.

Chasser le gaz présent éventuellement dans les cloches de Durham et bien mélanger le milieu et l'inoculum.

➤ **Incubation**

L'incubation se fait dans l'étuve à 44°C pendant 24 heures.

➤ **Lecture**

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

- Un dégagement gazeux.
- Après adjonction de 2 à 3 gouttes du réactif de Kovacs, appréciant d'un anneau rouge en surface, témoin de la production d'indole par *Escherichia coli*.

La lecture finale s'effectue également selon les prescriptions de la table NPP en tenant compte du fait qu'*Escherichia coli* est à la fois productrice de gaz et d'indole à 44°C.

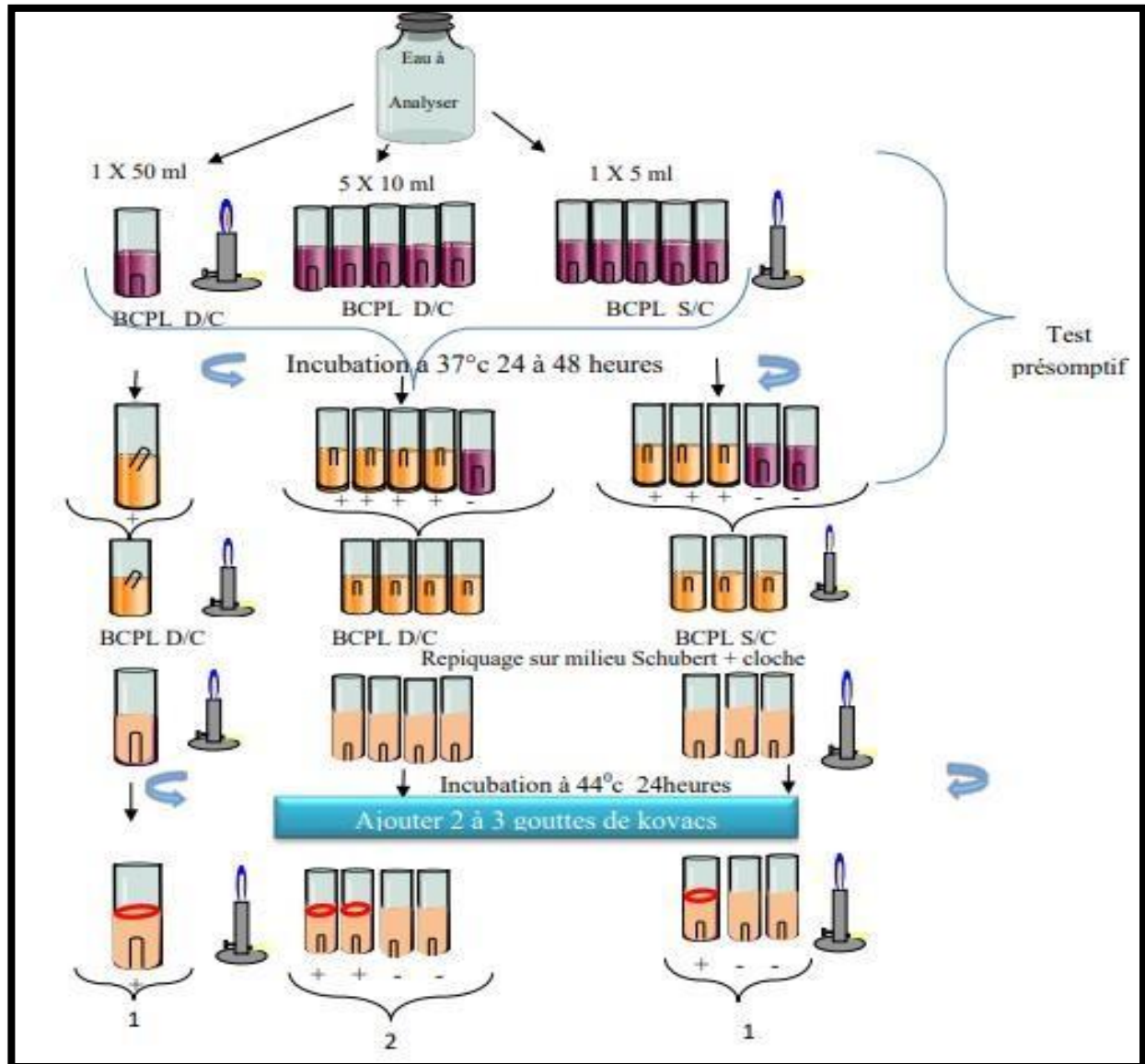


Figure 9 : Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux en milieu liquide
(Lebres et Mouffok, 2008)

B. Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux

Tout comme la méthode de recherche de coliformes en milieu liquide, celle de la recherche et le dénombrement des Streptocoques fécaux fait appel à deux tests consécutifs à savoir : (Figure 10)

- Test de présomption : réservé à la recherche présomptive des streptocoques.
- Test de confirmation : réservé à la confirmation réelle des Streptocoques fécaux à partir des tubes positifs du test de présomption.

Test de présomption

A partir de l'eau à analyser, porter aseptiquement :

- 50 ml dans un flacon contenant 50 ml de milieu ROTHE D/C.
- 5 fois 10 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu ROTHE D/C.
- 5 fois 1 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu ROTHE S/C.

Bien mélanger le milieu et l'inoculum.

➤ **Incubation**

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

➤ **Lecture**

Seront considérés comme présomptifs les tubes présentant un trouble microbien seulement ces derniers :

- Ne doivent pas faire l'objet de dénombrement,
- Doivent par contre, absolument faire l'objet d'un repiquage sur EVA litsky dans le but d'être confirmés.

Test de confirmation

Le test de confirmation est basé sur la confirmation des Streptocoques fécaux présents dans le test de présomption.

Les tubes de ROTHE trouvés positifs feront donc l'objet d'un repiquage dans des tubes contenant le milieu EVA-LITSKY.

Bien mélanger le milieu et l'inoculum.

➤ **Incubation**

L'incubation à 37°C pendant 24 heures.

➤ **Lecture**

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

- Un trouble microbien.
- Une pastille violette (Blanchâtre) au fond des tubes.

La lecture finale s'effectue également selon les prescriptions de la table NPP.

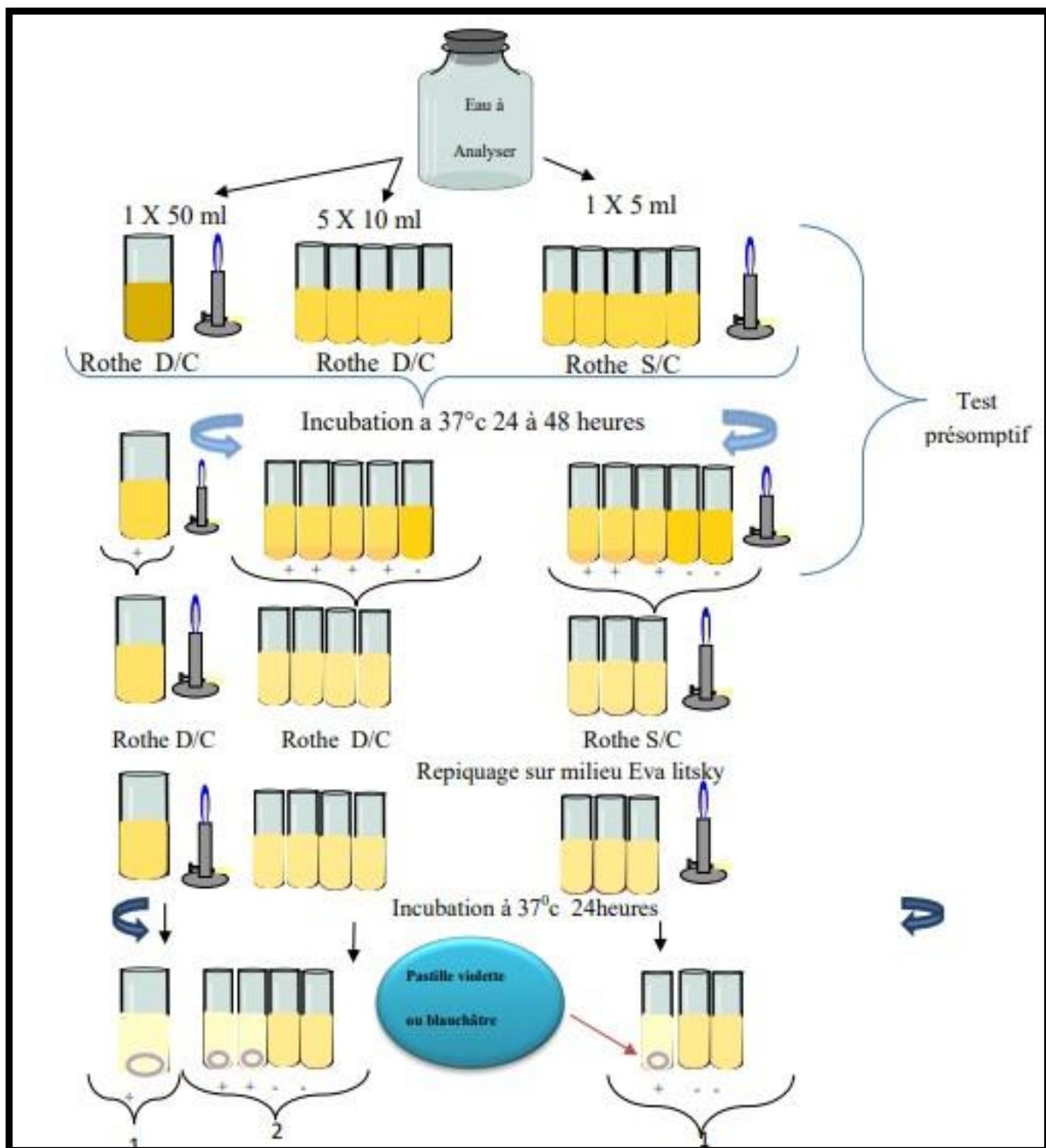


Figure 10 : Recherche et dénombrement des streptocoques totaux et fécaux (Lebres et Mouffok, 2008)

C. Recherche et dénombrement des spores d'Anaérobies Sulfite -Réducteurs (ASR)

Conformément à la norme NF T 90-415, La recherche des spores de Clostridium Sulfite-Réducteurs est réalisée selon la méthode par incorporation en milieu gélosé. Pour cela, nous avons suivi les étapes suivantes :

- Dans la zone stérile, porter dans 4 tubes 5ml de l'échantillon à analyser.

- Porter les tubes au bain-marie à 80 °C, pendant 10 min. Puis un refroidissement brutal sous l'eau de robinet (réaliser un choc thermique pour éliminer la forme végétative).
 - Faire préalablement fondre 180 ml du milieu viande-foie, ajouter après refroidissement les solutions, sulfite de sodium et alun de fer. Homogénéiser.
 - Verser la gélose viande-foie sulfitée, dans chacun des tubes contenant l'eau à raison de 15 ml par tube.
 - Remplir et mélanger doucement sans incorporer d'air.
 - Laisser les tubes solidifier sur la paillasse.
 - Incuber à 37°C pendant 24h.
- ❖ **Lecture**
Des spores noires apparaissent dans les tubes, les bactéries sulfito-réductrices détectées appartiennent souvent à l'espèce *Clostridium perfringens*.

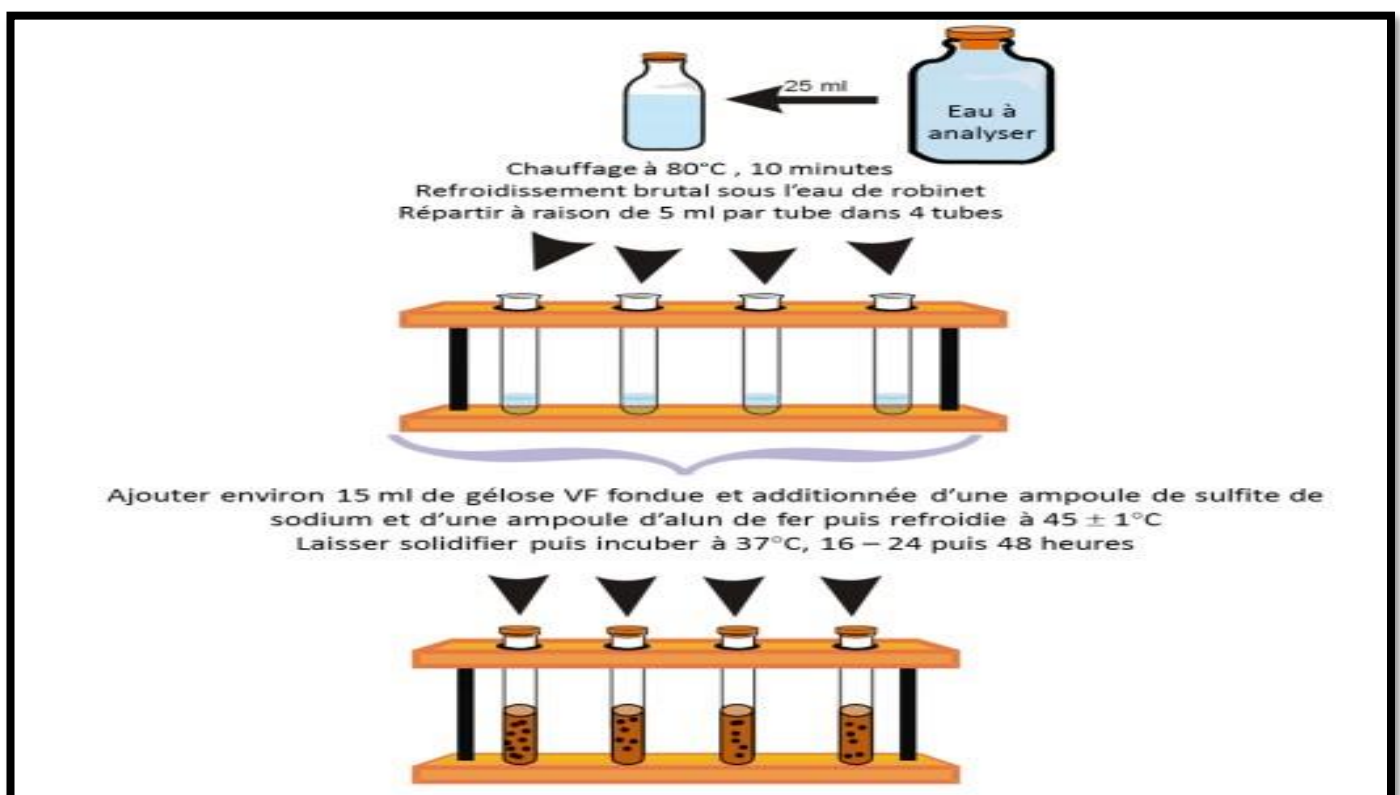


Figure 11 : Recherche et dénombrement des spores d'ASR (Original, 2021)

I.2.4.3 Recherche des bactéries pathogènes

A. Recherche des Salmonelles

La recherche des salmonelles EN ISO 6579. Elle se fait en 4 étapes :

Enrichissement primaire

Prendre 1 ml d'eau à analyser dans 5 ml de bouillon sélénite-cystéine D/C. la solution obtenu est appelée SFBI.

Incubation à 37°C pendant 18 à 24 heures.

Enrichissement secondaire et isolement

Un deuxième enrichissement sera réalisé à partir de la solution SFBI incubée la veille sur bouillon sélénite-cystéine en tube SFBII 1 ml par tube, et un isolement sur gélose HecktoenI.

Incubée à 37°C pendant 18 à 24 heures.

Isolement

- Effectuée la lecture de la boîte HecktoenI.
- Prendre 1 ml du SFBII et l'introduire dans un bouillon sélénite-cystéine en tube SFBIII.
- A partir du bouillon SFBII un isolement est effectué sur gélose Hecktoen II.

Incubation à 37°C pendant 18 à 24 heures.

Lecture et identification

Effectuer la lecture de la boîte Hecktoen II. Sur milieu Hecktoen, les colonies de Salmonelles sont vertes ou bleuâtres à centre noir.

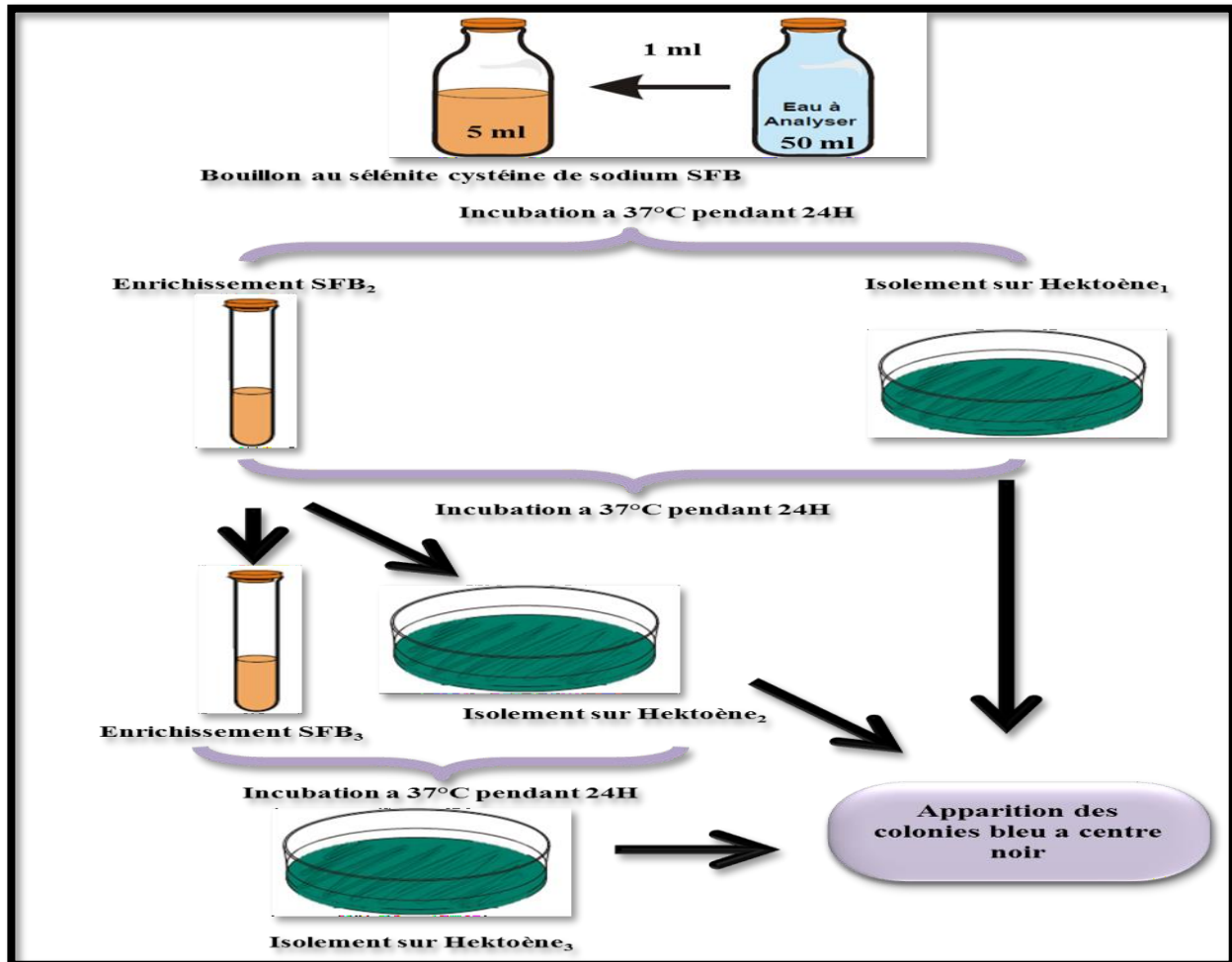


Figure 12 : Recherche des *Salmonelles* (originale, 2021)

B. Recherche de *Vibrion cholérique* (Figure 13)

✚ 1 ère étape :

Mettre 1 ml de l'eau a analysé dans un tube contenant 5 ml de l'eau peptonée alcaline (EPA I) à 3% NaCl.

Incubation à 37°C/ 24 heures.

✚ 2ème étape :

- Isolement sur GNAB I (gélose nutritive alcaline et biliée).
- Faire un deuxième enrichissement en prenant 1 ml d'EPA I et le mètre dans 5 ml d'EPA II.

Incubation à 37°C pendant 24 heures.

✚ 3^{ème} étape :

Isolement sur GNAB II à partir d'EPA II

Incubation à 37°C pendant 24 heures.

✚ Lecture

Présence de colonies transparentes sous forme de gouttelette d'eau.

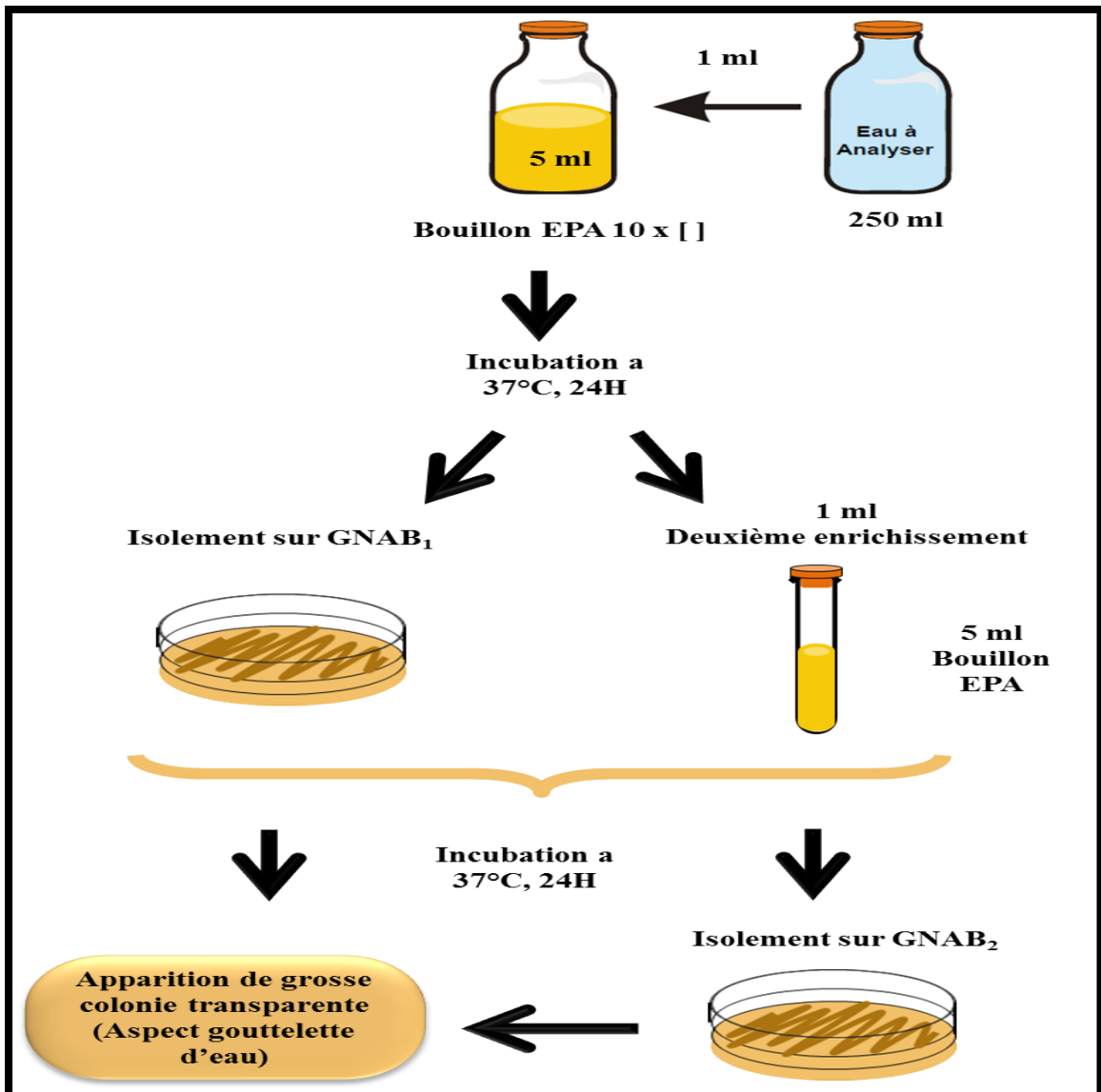


Figure 13 : Recherche de *Vibrien cholérique* (Originale, 2021)

C. Recherche des *Staphylococcus aureus*

La plupart des souches de *S. aureus* élaborent un pigment qui donne une couleur jaune aux colonies d'où l'appellation de « staphylocoque doré ».

La recherche des *staphylococcus aureus* se fait en 2 étapes : (Figure 14)

✚ 1^{ère} étape :

Prendre 1 ml de l'eau a analysée dans un tube contenant 5 ml de Giolitti + Add (Tellurite de potassium).

Laisser incubée à 37°C pendant 24 heures.

❖ Lecture

Noircissement de tube.

✚ 2^{ème} étape :

- Faire fondre un flacon contenant de la gélose Chapman dans un bain marie.
- Faire couler la gélose dans des boîtes de pétrie, laisser sécher.
- A partir du tube incubé la veille, prendre quelque goutte qu'on va étaler à l'aide d'un râteau dans la boîte de pétrie.

Incubation 24 heures à 37°C.

❖ Lecture

Les *staphylococcus aureus* apparaissent sous formes de colonies jaunes entourer d'une zone jaune.

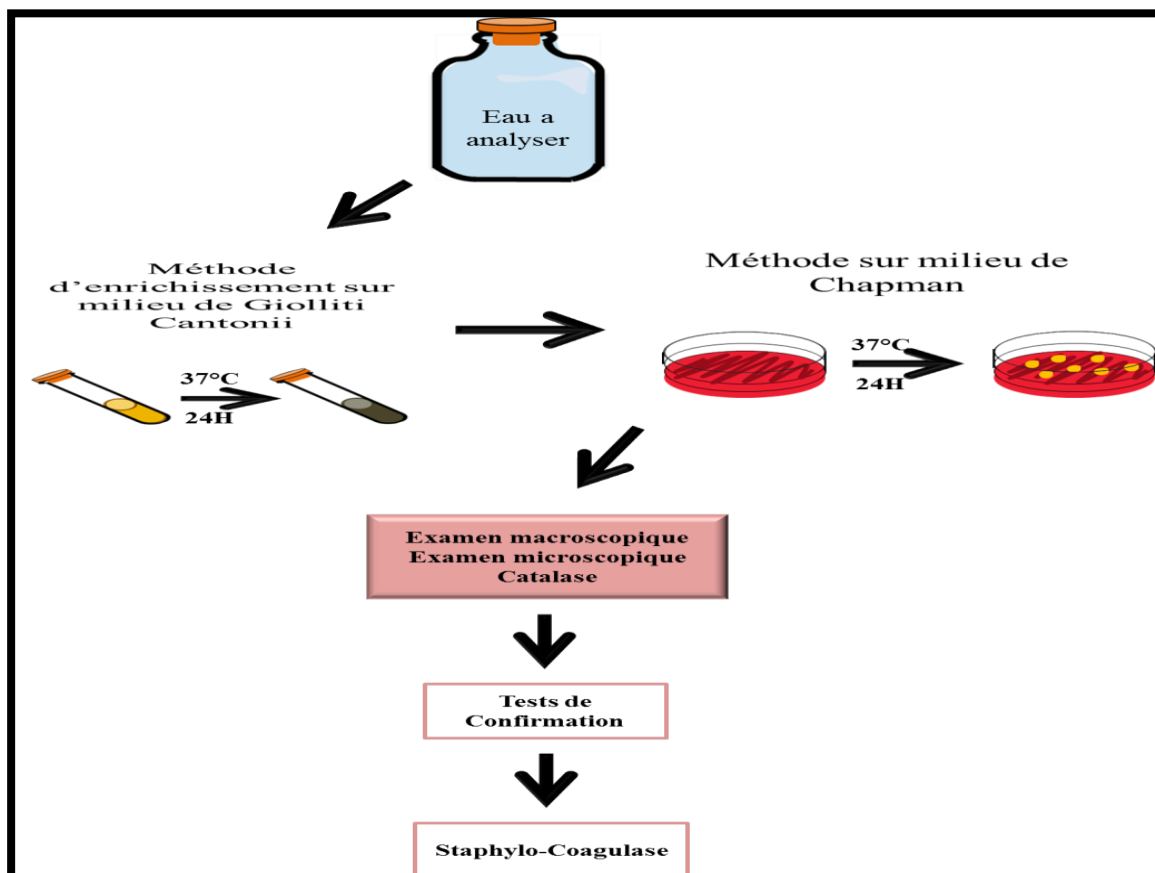


Figure 14 : Recherche de *Staphylococcus aureus* (Originale, 2021)

🚩 Recherche de *Pseudomonas aeruginosa*

Homogénéisée l'eau a analysé, puis à l'aide d'une pipete pasteur étalée quelques gouttes à la surface de la boîte pétrie contient de la gélose cétrimide.

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

➤ Lecture

Les colonies de *Pseudomonas aeruginosa* ont un diamètre de 1,5 à 2 mm, un contour circulaire, une couleur blanc crème, et sont parfois déjà accompagnées d'une production de pigment bleu-vert (pyocyanine)

❖ Confirmation

Pour la confirmation de *Pseudomonas aeruginosa* procéder à la recherche des pigments spécifiques sur les milieux King A et King B.

Ensemencer les deux milieux King A et King B en faisant une strie médiane à la surface de la gélose. Fermer les tubes sans serrer et incubé à 37°C pendant 1 à 3 jours.

➤ Lecture

La présence de pigments diffusibles se traduit par l'apparition de différentes couleurs qui peuvent diffuser sur toute la pente.

– Le milieu King A

Les colonies typiques sur ce milieu sont colorées en bleu-vert (pyocyanine).

– Le milieu King B

La production de pyoverdine se manifeste par une coloration jaune-verte.

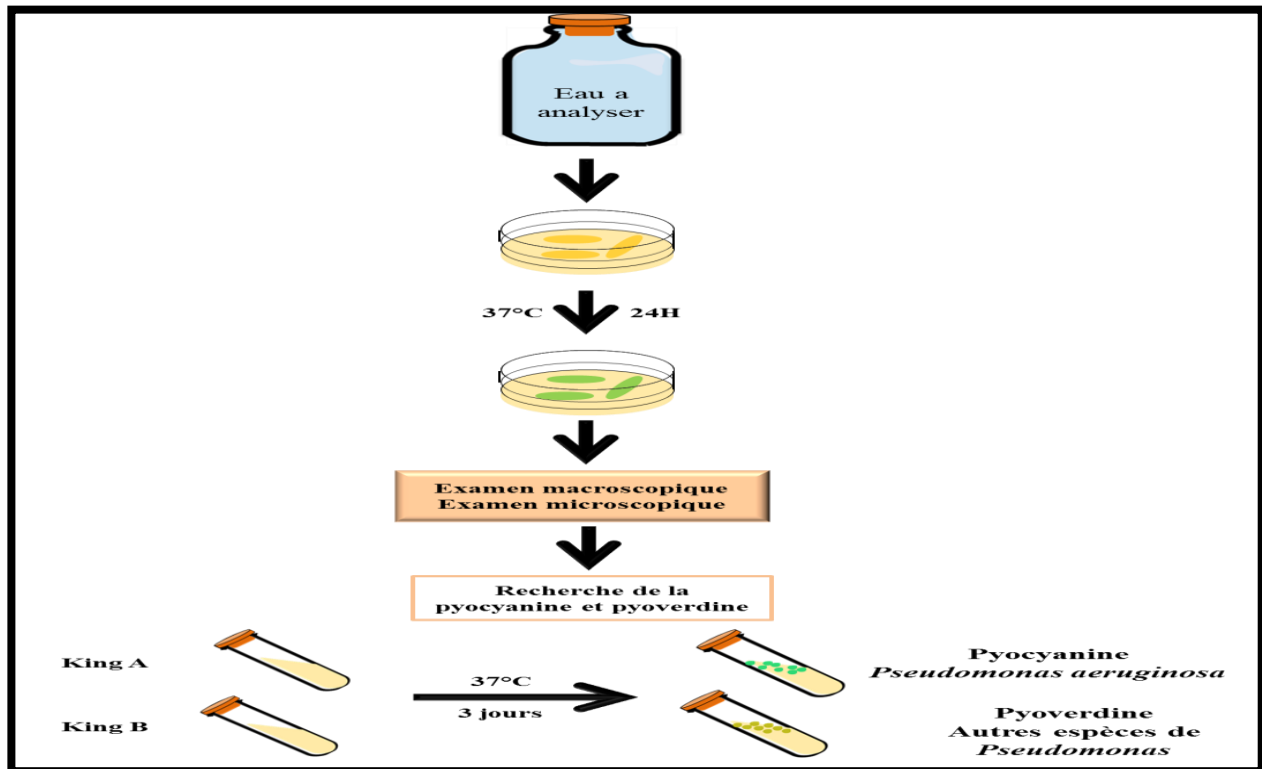


Figure 15 : Recherche de *Pseudomonas aeruginosa* (Originale, 2021)

I.2.5 Indentification biochimique des bactéries dans l'eau épurée

I.2.5.1 Etude macroscopique et microscopique

– Etude macroscopique

L'examen macroscopique des cultures est le premier examen effectué à partir de l'isolement après incubation. Il s'agit d'un examen à l'œil nu.

Etude macroscopique fait l'objet d'étude de : la taille, la forme, le contour, la consistance, l'opacité, l'odeur des colonies.

– Etude microscopique

L'observation microscopique permet de faire une étude morphologique des cellules d'une espèce bactérienne. Elle comprend :

- L'Etat frais.
- Coloration de Gram.

I.2.5.2 Teste d'orientation rapide

- Catalase
- Oxydase
- Coagulase

I.2.5.3 Galerie biochimique classique

Une galerie classique est un ensemble de milieux de culture, présentés en tubes (macro-galerie). met en évidence la fermentation des sucres avec ou sans dégagement de gaz, production d' H_2S et d'autres caractéristiques biochimiques.

L'identification se fait par l'ensemencement de quelques gouttes de la suspension bactérienne suspecte déjà préparée sur les milieux suivant :

- Milieu TSI (Triple Sugar Iron)
- Agar Citrate de Simon
- Manitol mobilité
- Urée indole
- Bouillon Clark et Lubs
- Bouillon nutritif
- LDC /ODC et ADH

Incubation 24 heures à 37°C.

La lecture des résultats est réalisée par la lecture des fiches techniques de chaque milieu.



Figure 16 : Galerie classique biochimique (Originale 2021)

I.2.5.4 Galerie biochimique miniaturisé (galerie Api 20E)

Elle permet l'identification des bacilles à Gram négatif dont les Entérobactéries, elle comprend 20 tests biochimiques. C'est une version miniaturisée et standardisée des techniques biochimiques conventionnelles pour l'identification des bactéries.

- Réunir fond et couvercle d'une boîte d'incubation et répartir de l'eau dans les alvéoles pour créer une atmosphère humide.
- Déposer stérilement la galerie dans la boîte d'incubation.
- La galerie Api 20E estensemencée en remplissant les micro-cupules par la suspension bactérienne à tester :
 - Remplir les tubules et les cupules pour les tests CIT, VP et GEL.
 - Remplir les tubules des tests ADH, LDC, ODC, H₂S et remplir la cupule avec de l'huile de vaseline, pour créer l'anaérobiose.
 - Remplir uniquement les tubules des tests restants.

Refermer la boîte est incubée 24 heures à 37°C.

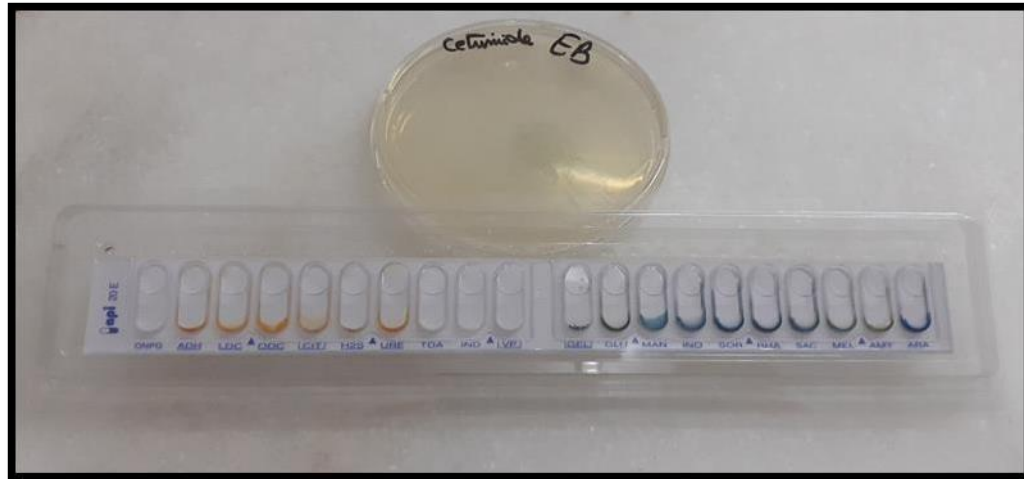


Figure 17 : Galerie biochimique API 20 E (Originale 2021)

I.2.5.5 Galerie biochimique miniaturisé (Api STAPH)

La galerie Api STAPH est un système standardisé pour l'identification du genre *Staphylococcus*, comporte 20 micro-tubes contenant des substrats déshydratés.

- Mettre de l'eau dans les alvéoles de la boîte d'incubation pour créer une atmosphère humide, placer la galerie dans la boîte d'incubation.
- A l'aide d'une pipette pasteur remplir les tubules uniquement de la galerie avec la

suspension bactérienne à tester.

Créer une anaérobiose dans les tests ADH et URE en remplissant leurs cupules avec huile de vaseline. Refermer la boîte et incubée 24 heures à 37°C.

La lecture des deux galeries s'effectue avec un logiciel numérique.



Figure 18 : Galerie biochimique API STAPH (Originale 2021)

I. 3.6 Antibiogramme

➤ Milieu pour antibiogramme

Le milieu Mueller-Hinton (MH) doit être coulé en boîte pétri sur épaisseur de 4 mm et séchées avant l'emploi.

➤ Préparation de l'inoculum

- A partir d'une culture pure de 18 à 24 h sur milieu d'isolement approprié, racler à l'aide d'une anse de platine quelques colonies bien isolées et parfaitement identiques.
- Bien décharger l'anse dans 5 ml d'eau physiologique stérile et homogénéiser la suspension bactérienne.

➤ Ensemencement

- Tremper un écouvillon stérile dans l'inoculum.
- L'essorer en le pressant fermement contre la paroi interne du tube, afin de décharger au maximum.
- Frotter l'écouvillon sur la totalité de la surface, de haut en bas, en stries serrées.
- Répéter l'opération 2 fois en tournant la boîte de 60° à chaque fois.
- Finir l'ensemencement en passant l'écouvillon sur la périphérie de la gélose, dans le cas d'ensemencement de plusieurs boîtes pétri, il faut recharger l'écouvillon à chaque fois.

➤ Application de disque d'antibiotique

- Mettre 6 disques d'antibiotique dans chaque boîte de 90 mm
- Presser chaque disque d'antibiotique à l'aide de pinces bactériologique stériles et ne pas déplacer les disques après l'application.
- La liste des antibiotiques testés figure dans le tableau (annexes).

➤ Incubation

Les géloses sont incubées entre 16 à 18 heures à $37^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

➤ Lecture

- Mesurer avec précision les diamètres des zones d'inhibition à l'aide d'un pied à coulisse en procédant par transparence à travers le fond de la boîte de pétri fermée.
- Comparer les résultats obtenus, aux valeurs critiques figurant dans des tables de lectures correspondantes.
- Classer les bactéries dans l'une des catégories résistant (R), sensibles (S) ou intermédiaire (I) (Rahal et al., 2020).

I. 3.7 Détermination du rendement de l'épuration

Les performances sont exprimées en termes de rendement (R) sur quelques paramètres Physico-chimiques et bactériologiques. Ce descripteur traduit le taux de réduction de la concentration en micropolluants entre l'entrée et la sortie de la station (Choubert et al., 2011).

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

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

Résultat et discussion

II. RESULTATS ET DISCUSSION

II.1. Paramètres physico-chimiques

Les résultats des paramètres physico-chimiques (Tableau voir annexe III) des eaux usées brutes et traitées ont été analysées et comparées aux normes recommandées par le **JORA** (2006 et 2013) et par l'**OMS** (2006) afin d'évaluer le rendement épuratoire du traitement par boues activées au niveau de la station d'épuration de Beni Mered et évaluer l'antibiorésistance de certaines souches isolées à partir des eaux épurées.

II.1.1. Température

La température est un facteur qui agit sur le métabolisme et la croissance de la plus part des organismes vivants dans l'eau, notamment ceux microscopiques (**WHO, 1987**).

Les températures relevées dans la station d'étude sont illustrées par la Figure 19, avec des valeurs comprises entre 24,5 °C et 18,7 °C et une moyenne de $22,1 \pm 2,14$ °C pour les eaux brutes à l'entrée de la station.

Des valeurs comprises entre 24,7 °C et 18,9 °C avec une moyenne de $22,26 \pm 2,44$ °C ont été relevées pour les eaux épurées à la sortie de la station. Ces dernières restent largement inférieures à 30 °C qui est la valeur limite de rejet dans le milieu récepteur appliquée en Algérie (**JORA, 2006**).

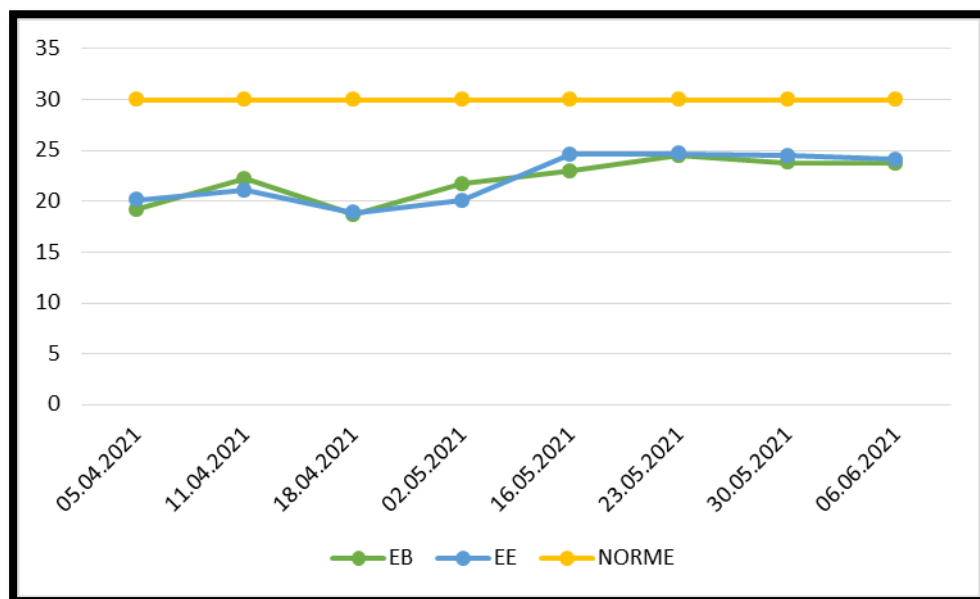


Figure 19 : Variation de la température (°C)

II.1.2. Potentiel d'Hydrogène (pH)

La représentation graphique du pH sur la figure 20, nous montre que les valeurs du pH se situent dans l'intervalle de 7,83 et 7,24 et une moyenne de $7,54 \pm 0,11$.

On remarque que les valeurs du pH de l'eau brute et de l'eau épurée sont voisines avec une légère diminution pour les eaux à la sortie de la station (eau épurée) due à la minéralisation de la matière organique. Ces moyennes sont conformes aux normes de rejet comprises entre 8,5 et 6,5 (OMS, 2006).

D'après **Sevrin reyssac et al., (1995)**, un pH alcalin et une température modérée sont des conditions de milieu idéal qui favorisent la prolifération des microorganismes qui établissent un parfait équilibre biologique, permettant la dégradation de la matière organique ce qui conduit à la décontamination de l'eau.

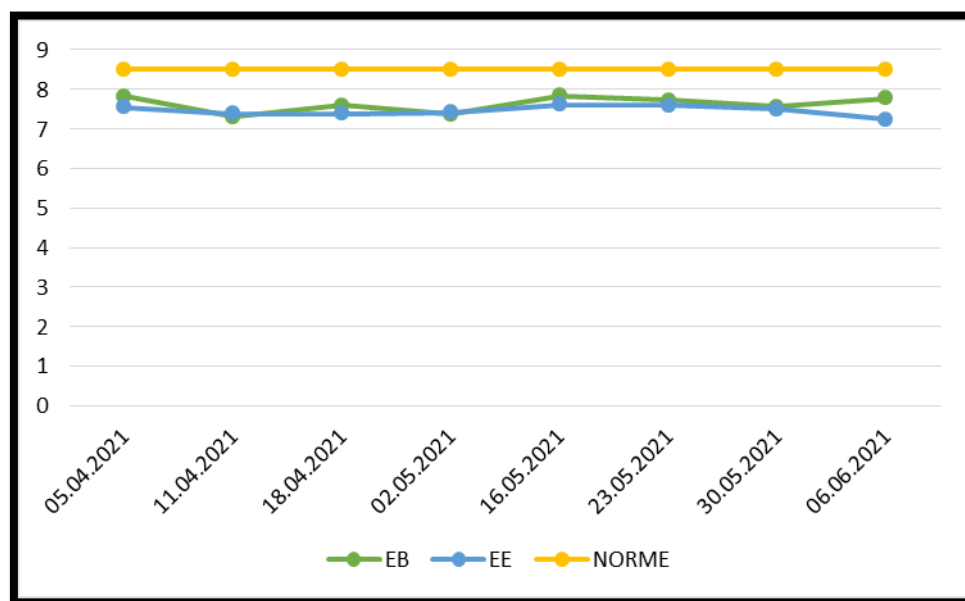


Figure 20 : Variation du pH

II.1.3. Conductivité électrique (CE)

Dans les eaux usées brutes, la valeur maximale est de $1806 \mu\text{S/cm}$ et la valeur minimale est de l'ordre de $1305 \mu\text{S/cm}$ avec une moyenne de $1644,12 \pm 165,38 \mu\text{S/cm}$.

Au niveau des eaux traitées, la valeur maximale de la conductivité enregistrée est de $1762 \mu\text{S/cm}$ et la valeur minimale est de $877 \mu\text{S/cm}$, avec une moyenne de $1351,37 \pm 257,88 \mu\text{S/cm}$ (Figure 21).

Une diminution de la conductivité électrique a été notée pour les eaux épurées par rapport à celles de l'eau brute qui est due probablement à la sédimentation des éléments minéraux comme rapportée dans les travaux de **Belghyti et al., (2009)**.

Ces valeurs ne dépassent pas les normes algériennes (**JORA,2011**) fixées à 2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

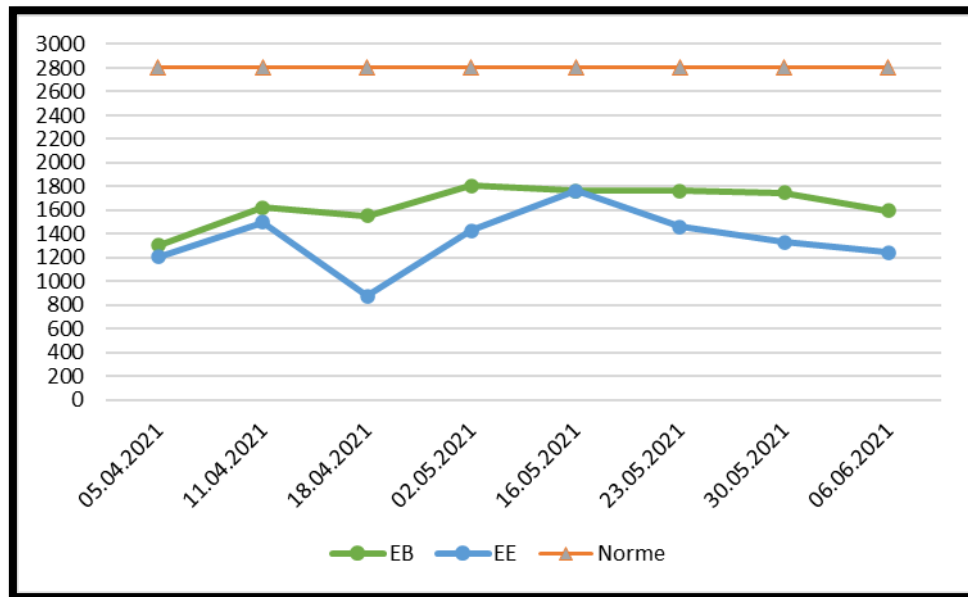


Figure 21 : Variation de la conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

II.1.4. Oxygène dissous (OD)

Les résultats obtenus durant notre étude sont représentés graphiquement sur la figure 22.

Dans les eaux usées brutes, les valeurs sont comprises entre 2,01 mg/l et 0,25 mg/l avec une moyenne de $0,38 \pm 0,65$ mg/l. Au niveau des eaux traitées, les valeurs sont comprises entre 5,23 mg/l et 0,48 mg/l avec une moyenne de $4,07 \pm 1,56$ mg/l. Ces valeurs sont supérieures à celles de l'OMS qui est de 5mg/l.

On remarque une augmentation des valeurs en OD dans les eaux épurées par rapport à l'eau brute qui est due à une bonne aération au niveau du bassin biologique. Cette dernière est nécessaire pour le développement des microorganismes aérobies assurant l'oxydation de la

matière organique, ce qui conduit à une bonne épuration biologique des eaux usées domestiques (Rejsek, 2002).

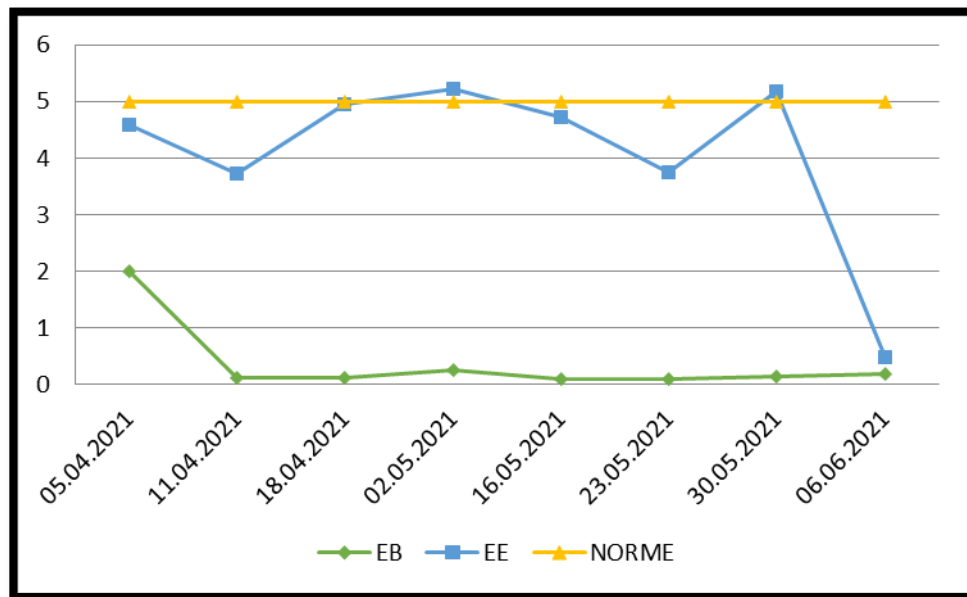


Figure 22 : Variation de l’Oxygène dissous (mg/l)

II.1.5. Matières en suspension

Les valeurs enregistrées révèlent une réduction importante des MES entre les eaux brutes et traitées (Figure 23). Elles se situent entre 224,6 mg/l et 423,33 mg/l avec une moyenne de $328,70 \pm 70,86$ mg/l pour les eaux brutes. Pour les eaux épurées, le taux des MES varie entre 4 mg/l et 17 mg/l avec une moyenne de $10,85 \pm 4,70$ mg/l. Ces faibles valeurs obtenues pour les eaux à la sortie de la STEP, sont dues à la sédimentation des matières décantables (Metahri, 2012). Elles restent, cependant inférieures à la norme de rejet de JORA limitée à 35 mg/l (JORA, 2006).

Selon la FAO (2003), la présence des matières en suspension dans les eaux usées ne constitue pas sauf cas très particulier un obstacle à la réutilisation de ces eaux, bien au contraire elle contribue à la fertilité des sols.

Toutefois, une présence excessive de matières en suspension peut entraîner des difficultés de transport et de distribution des effluents ainsi que le bouchage des systèmes d’irrigation (Belaid, 2010).

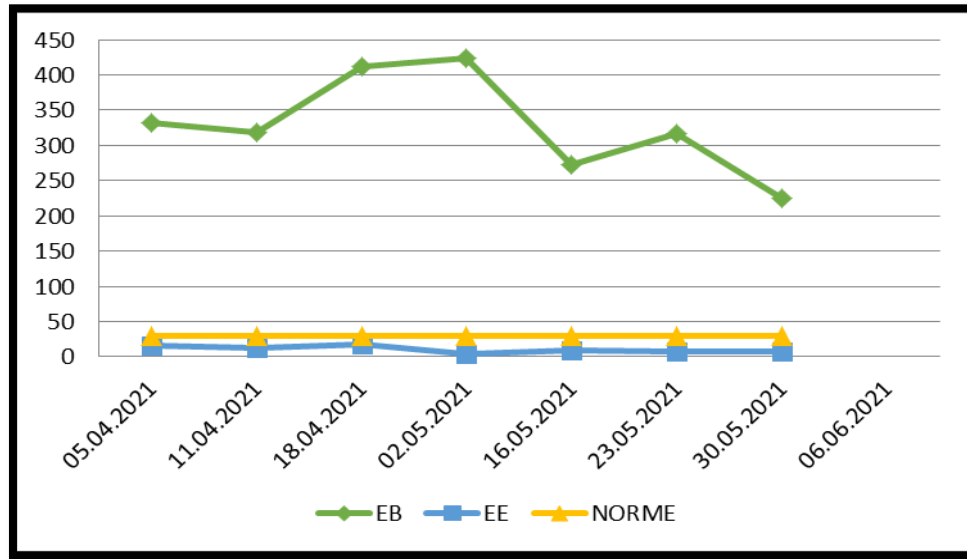


Figure 23 : Variation des matières en suspension (mg/l)

✚ Rendement d'élimination des MES

Le taux d'abattement des MES après traitement est illustré par la figure 24. Il est de l'ordre de 96,69%. Ce taux est supérieur à celui de **Rejesk (2002)** (>90%) ce qui caractérise une épuration efficace.

Cependant il est important de signaler que l'élimination des MES se fait par sédimentation dans les décanteurs, les bassins d'aération et les clarificateurs(**Metahri, 2012**).

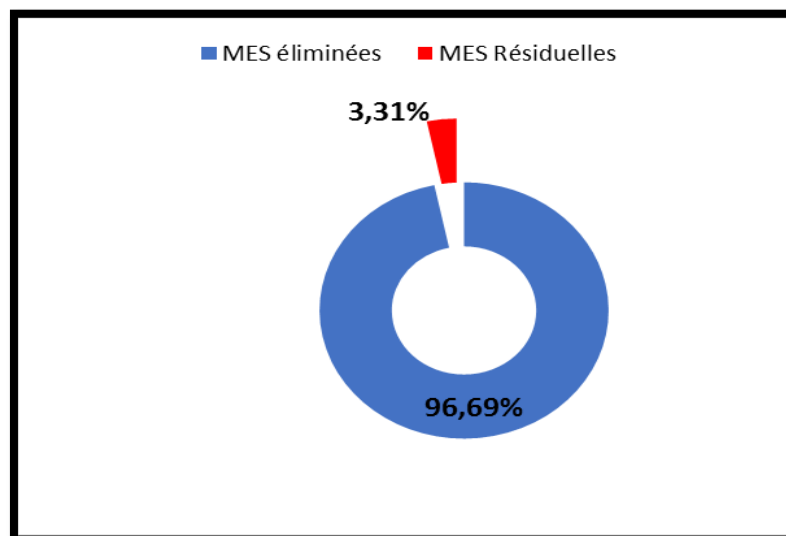


Figure 24 : Rendement d'élimination des MES

II.1.6. Azote total (N_T)

D'après les résultats obtenus dans le tableau ci-dessous, les valeurs de l'azote total varient à l'entrée de la station entre 156,9 mg/l et 99,7 mg/l avec une valeur moyenne de $128,33 \pm 28,60$ mg/l.

A la sortie de la station, les valeurs varient entre 45,6 mg/l et 32,2 mg/l avec une moyenne de $39,2 \pm 6,72$ mg/l et un taux de réduction moyen de 69%. Ce qui montre que le procédé du traitement à boues activées permet en plus de l'oxydation des composés carbonés l'oxydation et la réduction des composés azotés.

Tableau VI : Résultat de l'azote total

Prélèvement	EB	EE	Taux de réduction %
05.04.2021	99,7	32,2	68
11.04.2021	128,4	39,8	69
18.04.2021	156,9	45,6	70
Moyenne	128,33	39,2	69
Ecart type	28,60	6,72	-

II.1.7. Phosphore total

Les valeurs du phosphore total obtenues après analyse varient entre 15,2 mg/l et 10,2 mg/l avec une valeur moyenne de $12,23 \pm 2,62$ mg/l à l'entrée de la station. A la sortie de la STEP, elles varient entre 10,2 mg/l et 3,5 mg/l avec une moyenne de $6,18 \pm 3,54$ mg/l (Tableau VII).

Ces valeurs sont élevées et dépassent les normes algériennes et internationales de rejet (< 2 mg/l) et celles des eaux d'irrigation ($< 0,94$ mg/l) (OMS, 1989).

Dans une station d'épuration à boues activées l'élimination du phosphore total peut s'avérer difficile sans l'ajout de produits chimiques (Dernat, 1994).

Au niveau de la station d'épuration de Beni Mered, le procédé biologique seul a permis une réduction de 51% de phosphore admis.

Les microorganismes assurent la dégradation du carbone et de l'azote intégrant le phosphore à leur matériel cellulaire (structure membranaire, ATP et ARN). La part du phosphore éliminé simplement par cette voie représente environ 25% de la quantité journalière à dégradée (Deronzier et Choubert, 2004).

Tableau VII : Résultat du phosphore total

Prélèvement	EB	EE	Taux de réduction %
05.04.2021	15,2	10,2	33
11.04.2021	10,2	4,84	52
18.04.2021	11,3	3,5	69
Moyenne	12,23	6,18	51,33
Ecartype	2,62	3,54	-

II.1.8. Paramètres de pollution organique

✚ Demande Chimique en Oxygène (DCO)

Les teneurs en DCO enregistrées au niveau des eaux étudiées sont comprises entre 1123 et 633 mg/l, avec une moyenne $878,714 \pm 152,912$ mg/l pour l'eau brute. Concernant les effluents épurés, les valeurs enregistrées de la DCO sont largement inférieures à celle de l'eau d'entrée et varient entre 98 et 46,2 mg/l avec une moyenne $70,833 \pm 15,497$ mg/l (Tableau VIII).

On remarque que les teneurs de la DCO des effluents épurés sont conformes aux normes de l'OMS (<90 mg/l).

✚ Demande Biochimique en Oxygène (DBO₅)

Les teneurs en DBO₅ enregistrées au niveau des eaux étudiées sont comprises entre 367 et 272 mg/l, avec une moyenne $329,125 \pm 36,096$ mg/l pour eau brute. Les résultats de l'eau épurée ne dépassent pas les normes de rejet qui sont de 30 mg/l, avec une moyenne de $14,75 \pm 2,866$ mg/l (Tableau VIII).

Cette réduction est due à l'activité des microorganismes épurateurs qui assurent la dégradation et la transformation de la matière organique en CO₂, H₂O et NH₃ permettant ainsi l'élimination de la pollution organique (Cardot, 1999).

✚ Indice de biodégradabilité $K=DCO/DBO_5$

Les valeurs enregistrées sont globalement inférieures à 3, ce qui indique que l'effluent est facilement biodégradable. A l'exception des deux prélèvements 3 et 4 le coefficient de biodégradabilité K est entre 3 et 5 ce qui signifie que l'effluent est moyennement biodégradable (Tableau VIII).

Tableau VIII : Résultats de la DCO et de la DBO_5 et de K

Pollution organique	DCO		DBO ₅		K	NORME DCO (mg O ₂ /l)	NORME DBO ₅ (mg O ₂ /l)	OBSERVATION
	EB	EE	EB	EE				
P1 :05-04-2021	862	98	337	15	2,559	90	30	-K<3 : les effluents sont facilement biodégradables.
P2 :11-04-2021	881	69	367	18	2,4	90	30	-K<3 : les effluents sont facilement biodégradables.
P3 :18-04-2021	1123	46.2	272	9	4,129	90	30	-K est compris entre 3 et 5 ce qui signifie que les effluents sont moyennement biodégradables.
P4 :02-05-2021	987	79	317	14	3,114	90	30	
P5 :16-05-2021	633	59	348	18	1,819	90	30	-Les effluents sont facilement biodégradables car K<3.
P6 :23-05-2021	877	57	356	14	2,463	90	30	
P7 :30-05-2021	788	63	356	16	2,213	90	30	
P8 :06-06-2021	-	-	280	14	-	-	30	-La teneurs en DBO ₅ est conforme aux normes.

✚ Rendement d'élimination de la DCO et DBO₅

D'après la figure 25, nous constatons que le rendement épuratoire de la DCO et de la DBO₅ est plus que satisfaisant avec un taux de 92% et de 96% respectivement . Ce rendement est supérieur à celui retrouvé par **REJESK (2002)** (90%) et supérieur à celui enregistré dans la station de traitement de Ouajda (Maroc) (**Rassam et al., 2012**).

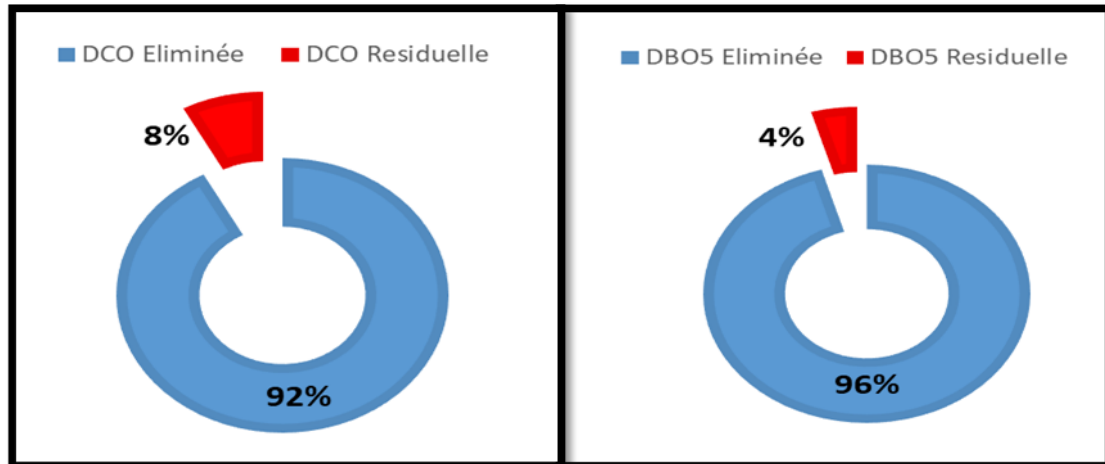


Figure 25 : Rendement d'élimination de la DCO et la DBO₅

II.2. Paramètres bactériologiques

Les résultats concernant les analyses bactériologique des échantillons d'eau prélevés au niveau de la STEP de Béni Mered durant cette période sont présentés dans le Tableau XXIX (Annexe n° II).

II.2.1 Recherche et dénombrement des Coliformes Totaux (CT)

Les eaux brutes analysées sont fortement chargées en coliformes avec une concentration comprise entre ($>240 \times 10^2$ et 3×10^2) germes/100ml. Les valeurs maximales sont rencontrées dans les cinq derniers prélèvements.

Selon Servais et al., (1999), des teneurs élevées en matières en suspension favorisent la présence et la survie des bactéries fécales.

Par contre, à la sortie, le nombre en coliformes totaux a diminué et présente des concentrations comprises entre (>240 et 3) germes/100ml.

On note que le nombre en coliformes totaux sont conformes aux normes de rejet des eaux dans le milieu naturel qui se situe entre 10^3 et 10^7 germes/100ml d'eau à analyser (OMS, 2003).

II.2.2 Recherche et dénombrement des coliformes fécaux

L'abondance en coliformes dans les effluents traités dépend de la qualité microbiologique des eaux brutes d'une part, et d'autre part, de l'efficacité de la filière de traitement à éliminer ces coliformes (Dupray et Derrien, 1995).

Les coliformes fécaux ou coliformes thermotolérants font partie d'une catégorie qui

inclut essentiellement *Escherichia coli*. Cette flore est plus indicatrice de la contamination fécale que les autres coliformes (**Guiraud, 2004**).

Les résultats obtenus présentent dans les effluents bruts, une valeur maximale de ($>240 \times 10^2$) germes/100ml (Tableau IX). D'après **LESON ET WINER (1991)**, le nombre élevé en Coliformes fécaux dans l'eau brute est dû à la capacité des germes à résister aux conditions environnementales difficiles.


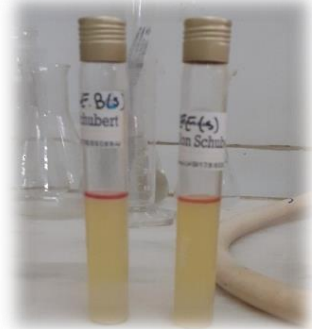
Concernant les effluents épurés, les teneurs en coliformes fécaux sont comprises entre (0 et >240) germes/100ml. Le nombre de ces germes a diminué dans l'eau épurée. Il est conforme à la norme donnée par l'OMS ($10-10^6$).

Rendement d'élimination des CT et des CF

Les résultats des rendements d'éliminations des Coliformes Totaux et Coliforme Fécaux sont illustrés dans la figure 26.

Le traitement s'est avéré efficace en ce qui concerne l'abattement du nombre de CT et CF avec des rendements épuratoires respectifs de 99% et 87%. Cela est en accord avec les travaux de **SHUVAL (1991)**, les systèmes d'épuration biologiques par boues activées sont les plus efficaces en ce qui concerne la réduction de la biomasse bactérienne avec des taux qui peuvent varier entre 90 à 99%.

Tableau IX : Résultats des coliformes totaux et coliformes fécaux exprimés en germes/100 ml

Germe		CT		CF	
		EB	EE	EB	EE
Prélèvement	P1 :04-04-2021	3×10 ²	5	3x10 ²	5
	P2 :11-04-2021	21×10 ²	28	8	18
	P3 :18-04-2021	7×10 ²	3	0	0
	P4 :02-05-2021	>240×10 ²	24	9x10 ²	6
	P5 :16-05-2021	>240×10 ²	>240	4x10 ²	2
	P6 :23-05-2021	>240×10 ²	>240	2x10 ²	1
	P7 :30-05-2021	>240x10 ²	>240	>240x10 ²	>240
	P8 :06-06-2021	>240x10 ²	5	>240x10 ²	5
Photos		 <ul style="list-style-type: none"> - Dégagement de gaz. - virage de couleur du violet au jaune. 		 <ul style="list-style-type: none"> - dégagement de gaz. - Présence d'un anneau rouge. 	

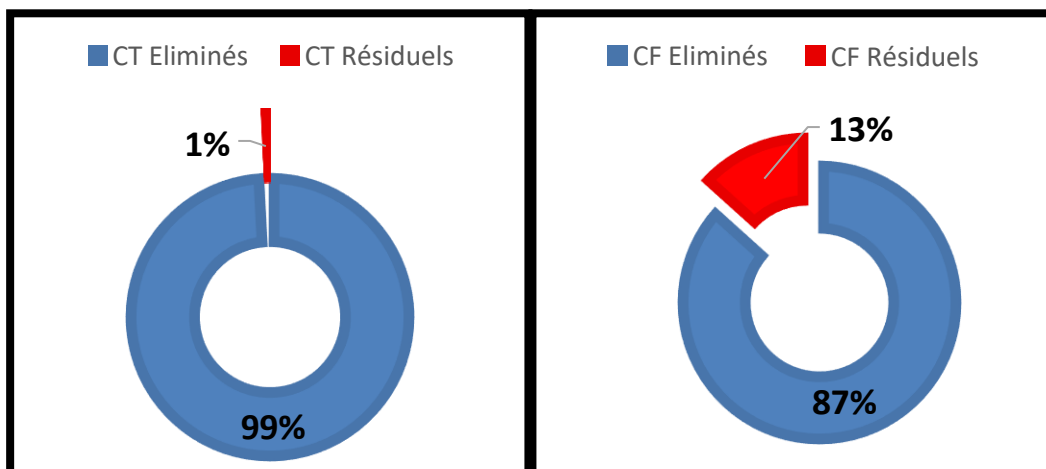


Figure 26 : Rendement d'élimination des coliformes totaux et coliformes fécaux

II.2.3 Recherche et dénombrement des Streptocoques Fécaux (SF)

On constate que le nombre de SF dans les eaux usées brutes est compris entre $(>240 \times 10^2)$ UFC/100ml et (18×10^2) UFC/100ml d'eau analysée (Figure 27).

A la sortie les valeurs sont comprises entre >240 UFC/100ml et 5 UFC/100ml d'eau à analyser. Ces valeurs sont conformes aux normes fixées par l'OMS ($10-10^5$ germes/100 ml).

Ils sont communément utilisés pour identifier une pollution d'origine fécale. Leur prolifération est due au déversement des matières organiques et des substances nutritives azotées (Rodier, 1984). Ils sont plus résistants aux conditions environnementales difficiles et persistent plus longtemps dans l'eau (Gleeson et Gray, 1997).

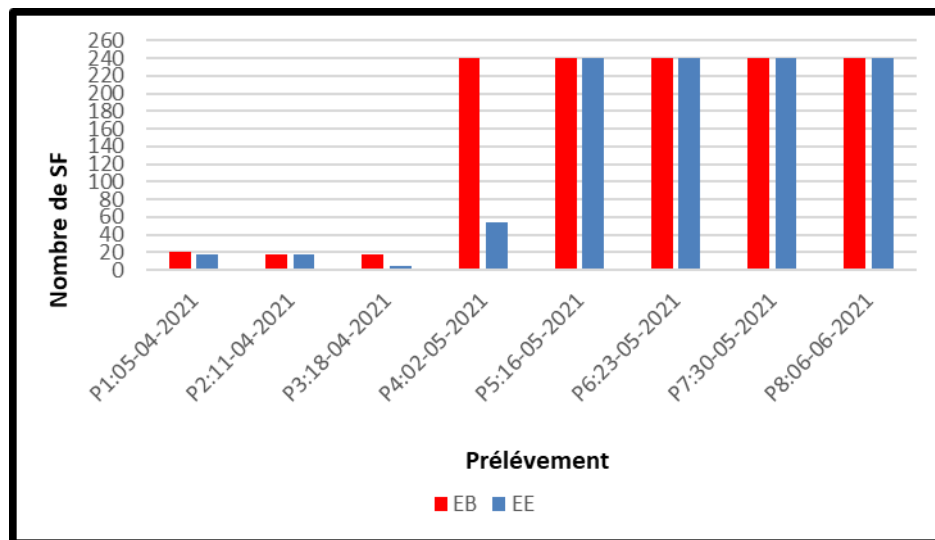


Figure 27 : Résultats du dénombrement des SF exprimés en germes/100ml

✚ Rendement d'élimination des SF

Le traitement s'est avéré efficace en ce qui concerne l'abattement des SF avec un rendement épuratoire de 99% (figure 28).

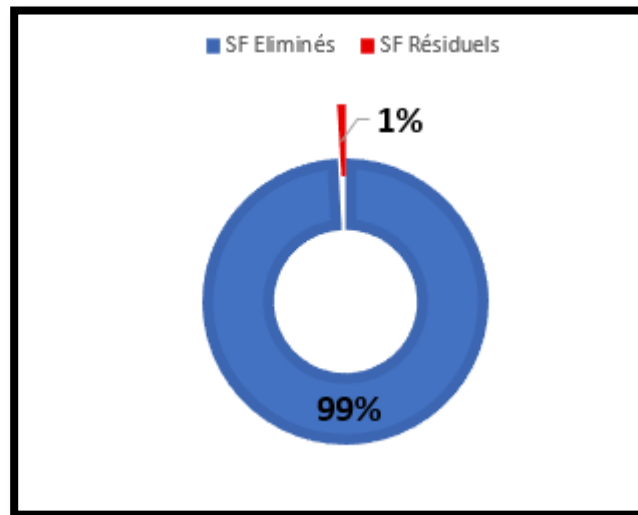


Figure 28 : Rendement d'élimination des SF



II.2.4. Recherche et dénombrement des Spores d'Anaérobies Sulfito-Réducteurs (ASR)

Les résultats illustrés dans le Tableau X indiquent une charge très élevée et indénombrable des spores ASR dans les effluents brutes et épurés dans les 4 premiers prélèvements. Par contre dans les 4 derniers prélèvements, la charge a été faible comprise entre 2 à 0 spore/ 100 ml.

D'après **Rodier et al (2005)**, les spores d'anaérobies Sulfito Réducteurs sont à l'origine des mauvaises odeurs. Elles sont extrêmement persistantes dans l'environnement et résistantes au processus de désinfection de l'eau.

Par conséquent, leur valeur comme indicateur de contamination fécale a été mise en doute car les spores pourraient se trouver naturellement dans l'environnement (**Pitkanen, 2010**).

Tableau X : Résultats de la recherche et du dénombrement des ASR

Germe	ASR		Photos
	EB	EE	
P1 :04-04-2021	165x10 ²	136	 <p>Spors</p>
P2 :11-04-2021	IND	IND	
P3 :18-04-2021	IND	0	
P4 :02-05-2021	IND	IND	
P5 :16-05-2021	37x10 ²	0	
P6 :23-05-2021	0	0	
P7 :30-05-2021	1x10 ²	0	
P8 :06-06-2021	18x10 ²	2	

II.2.5. Recherche des bactéries du genre *Staphylococcus*

Durant toute la période d'étude, nous n'avons mis en évidence la présence de *Staphylococcus* qu'une seule fois dans le 5^{ème} prélèvement dans l'eau brute et l'eau épurée. Les résultats sont présentés dans le tableau XI.

S. aureus serait capable de survivre dans l'eau pendant plusieurs mois, pourvu qu'il dispose d'un minimum de nutriments pouvant être apportés par des cellules sénescents (Rusin et al., 2003).

La détection occasionnelle des différentes espèces de *Staphylococcus* est due aux caractéristiques de ce genre bactérien très répandu dans la nature. En effet, les staphylocoques arrivent à proliférer grâce à leur particulière résistance aux conditions hostiles de l'environnement, telles que la chaleur et la sécheresse (**Ait Hamlet, 1998**).

II.2.6. Recherche de *Pseudomonas aeruginosa*

D'après le Tableau XI, on note la présence de *Pseudomonas aeruginosa* dans la majorité des prélèvements des effluents bruts à l'exception de 3^{ème} et 4^{ème}.

A la sortie, les résultats montrent une présence des pseudomonas dans les prélèvements 2 et 6.

Pseudomonas aeruginosa est une bactérie ubiquitaire retrouvée dans l'environnement (sols, eaux) (**Lister et al., 2009**).

II.2.7. Recherche des bactéries du genre *Salmonella*

Les microorganismes pathogènes tels que les salmonelles sont généralement transmis à l'homme par ingestion d'eau contaminée et sont responsables de diverses maladies (**Momba et al., 2006**).

Les bactéries du genre salmonelles n'ont pas été détectées dans la STEP durant toute la période d'étude (Tableau XI). Selon **Amirou et Benkaddour (2015)**, ceci peut être expliqué :

- D'une part, par l'absence des porteurs asymptomatiques de la population habitante dans les régions.
- D'autre part, par la difficulté de la recherche de ces germes du fait de leurs nombre très faible.

II.2.8. Recherche des bactéries du genre *vibron cholérique*

Durant la période d'étude, aucune colonie caractéristique supposée être des vibrions cholériques n'a été détectée. (Tableau XI).

Tableau XI : Résultats de la recherche des germes pathogènes

Germe	<i>P. aeruginosa</i>		<i>S. aureus</i>		<i>Salmonelle</i>		<i>V. cholérique</i>	
	EB	EE	EB	EE	EB	EE	EB	EE
P1 :04-04-2021	+	-	-	-	-	-	-	-
P2 :11-04-2021	+	+	-	-	-	-	-	-
P3 :18-04-2021	-	-	-	-	-	-	-	-
P4 :02-05-2021	-	-	-	-	-	-	-	-
P5 :16-05-2021	+	-	+	+	-	-	-	-
P6 :23-05-2021	+	+	-	-	-	-	-	-
P7 :30-05-2021	+	-	-	-	-	-	-	-
P8 :06-06-2021	+	-	-	-	-	-	-	-
Nombre de souche	6	2	1	1	0	0	0	0
Photos								

Légendes : + présente, - absente

II.3. Identification des souches isolées des eaux épurées

✚ Etude macroscopique

L'aspect macroscopique des colonies suspectes est présenté dans le tableau suivant

Tableau XII : Résultat de l'étude macroscopique

Colonies suspectes	Forme	Relief	Couleur
1	Irréguliere	plate	Bleu-vert
2	Ronde	Bombé	Saumon
3	Irréguliere	Plat	Saumon
4	Régulière	Bombé	Doré

✚ Etude microscopique

Le tableau ci-dessous présente les résultats de l'examen microscopique des colonies suspectes :

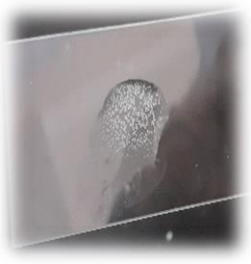


Tableau XIII : Résultat de l'étude microscopique

Colonies suspectes	Morphologie	Gram
1	Bacille	Négatif
2	Bacille	Négatif
3	Bacille	Négatif
4	Cocci en grappe de raisin	Positif

✚ Test d'orientation rapide

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau ci-dessous

Tableau XIV : Résultat du test d'orientation




Colonies suspectes	Catalase	Oxydase	Coagulase
1	+	+	Non déterminée
2	+	-	Non déterminée
4	+	-	Non déterminée
3	+	+	+
Photos			

🚦 Galerie biochimique API

Les quatre colonies suspectes ont été successivement identifiées au moyen de la galerie biochimique API.

Les trois premières colonies suspectes ont été identifiées par le biais de la galerie API 20E, et la 4^{ème} colonie suspecte par la galerie API STAPH. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau XV : Espèces identifiées

Colonie suspecte	Espèce identifiée	Galleries
1	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	
2	<i>Klebseilla pneumoniae</i>	
3	<i>E. coli</i>	
4	<i>Staphylococcus aureus</i>	

Le tableau XVI, montre les espèces des entérobactéries dominante sur les milieux liquides et solides.

Tableau XVI : Dominance des entérobactéries sur le milieu liquide et milieu solide

	Milieu liquide	Milieu solide
<i>E.coli</i>	Dominante	Non dominante
<i>Klebsiella</i>	Non dominante	Dominante

II.4. Antibiogramme

Durant cette étude, nous avons effectué des antibiogrammes pour les différentes souches identifiées dans l'eau traitée afin de déterminer la sensibilité vis-à-vis de 14 antibiotiques.

L'antibiogramme a été réalisé par la méthode de diffusion des disques sur gélose Muller-Hinton et interpréter après la mesure des diamètres d'inhibition selon la standardisation de l'antibiogramme à l'échelle nationale (Rahal et al., 2020).

II.4.1. Etude de la résistance des souches *Klebsiella pneumoniae*

- Un taux de résistance de 100% pour les antibiotiques : Amoxicilline + acide clavulanique, Cefoxitine, Cefazoline.
- Un taux de résistance de 33.33% pour l'antibiotique : Ciprofloxacine.
- Un taux de résistance de 0% les souche isolé de *Klebsiella pneumoniae* sont tré sensibles vis-à-vis des antibiotiques : Azetronam, Amikacine et Cefotaxine (Tableau XVII).

Tableau XVII: Résultats de mesures des zones d'inhibition pour *Klebsiella pneumoniae* .

Antibiotiques	KL/S1	KL/S2	KL/S3	% de résistance
AMC	9mm	13mm	0mm	100
	R	R	R	
AT	50mm	32mm	26mm	0
	S	S	S	
AK	34mm	22mm	27mm	0
	S	S	S	
CIP	31mm	28mm	0	33.33
	S	I	R	
CX	12mm	0mm	0mm	100
	R	R	R	
CTX	35mm	30mm	28mm	0
	S	S	S	
CZ	0mm	16mm	0mm	100
	R	R	R	

II.4.2. Etude de la résistance des souches de *Streptocoque du groupe D*

Les résultats obtenus (TableauXVIII) montrent que les 2 souches isolées de *Streptocoque du groupe D* présentent:

- Un taux de résistance de 50% pour les antibiotiques : Ampicilline, Ciprofloxacine et Erythromycine
- Les *streptocoques du groupe D* ont été sensibles (TR=0%) pour les antibiotiques : Chloramphénicol, Gentamicine et vancomycine.

Tableau XVIII : Résultats de mesures des zones d'inhibition pour *Streptocoque du groupe D*

Antibiotiques	strepto1	strepto2	% de résistance
AMP	0mm	15mm	50
	R	I	
CIP	15mm	24mm	50
	R	I	
C	31mm	31mm	0
	S	S	
GEN	23mm	19mm	0
	S	S	
E	0mm	19mm	50
	R	I	
VA	30mm	30mm	0
	S	S	

II.4.3. Etude de la résistance des souches de *Staphylococcus aureus*

Les résultats obtenus montrent que la souche isolée de *Staphylococcus aureus* :

- Un taux de résistance de 100% pour les antibiotiques :Pénicillineet Oxacilline
- *Staphylococcus aureus* était sensible (TR=0%) pour les antibiotiques : Gentamicine et Erythromycine

Tableau XIX : Résultats de mesures des zones d'inhibition pour *Staphylococcus aureus*

Antibiotiques	<i>Staphylococcus aureus</i>	% de résistance
P	21mm	100
	R	
OXA	0mm	100
	R	
GEN	38mm	0
	S	
E	35mm	0
	S	

II.4.4. Etude de la résistance des souches de *Pseudomonas aeruginosa*

Les résultats obtenus (Tableau XX) montrent que la souche isolée de *Pseudomonas aeruginosa* à été fortement sensible (TR=0%) pour les antibiotiques : Gentamicine et Amikacine

Tableau XX : Résultats de mesures des zones d'inhibition pour *Pseudomonas aeruginosa*

Antibiotiques	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	% de résistance
AK	33mm	0
	S	
GEN	27mm	0
	S	

Les niveaux de résistance bactérienne varient d'un pays à l'autre et d'une année à l'autre. Ainsi, la connaissance de la situation locale et de son évolution sont nécessaires pour le choix de l'antibiothérapie de première intention (**El bakkouri et al., 2009**). En effet, nos résultats obtenus de l'antibiogramme des souches isolées des eaux traitées à partir de la STEP de Beni Mered montrent un taux de résistance élevé vis-à-vis de la majorité des antibiotiques.

En outre, plusieurs composés antibiotiques ne sont pas complètement dégradés dans le processus de traitement des eaux usées et sont donc rejetés dans l'environnement par des effluents où ils peuvent sélectionner des bactéries résistantes aux antibiotiques (**Gatica et al., 2013**). Ce problème de résistance aux antibiotiques est tellement alarmant que **Martinez (2009)**, n'hésite pas à caractériser ce phénomène de véritable pollution.

Conclusion et perspective

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'étude a permis en premier lieu d'évaluer l'efficacité de la station d'épuration de Beni Mered en termes d'abattement de différents paramètres physico-chimiques et bactériologiques et la présence de souches résistantes dans les eaux épurées.

En premier lieu, nous avons étudié les paramètres physico-chimiques des effluents brutes et épurés. Les résultats obtenus sont conformes aux normes du JORA et de l'OMS avec des rendements suivants : MES : 96,69% (> 90 %), DCO : 92,12%, DBO5 : 95,54%.

Les résultats de l'azote total ont été satisfaisants avec un taux de réduction moyen de 69%. Quant au phosphore total, nous avons obtenu des résultats supérieurs aux normes algériennes et internationales : moyenne de 6,18 (< 2) ceci peut être expliqué par la non utilisation de procédés chimiques dans l'épuration à boues activées.

Les résultats ayant trait à la recherche et au dénombrement des germes indicateurs de contamination fécale et des germes pathogènes ont révélé que les Coliformes totaux et les Coliformes fécaux présentent des rendements respectifs de : 99,18% et 86,67%. La charge des Streptocoques fécaux, et des Spores Anaérobies Sulfito-Réducteurs est majoritairement conforme aux normes.

Nos recherches ont révélé la présence de germes pathogènes comme *Pseudomonase aeruginosa* et *Staphylococcus aureus* dans l'eau brute ou dans l'eau épurée.

L'antibiogramme a révélé une résistance vis-à-vis de la majorité des antibiotiques. Ceci est la résultante du rejet d'antibiotiques dans les eaux usées et peut devenir à long terme un réel problème de pollution environnementale et de santé publique.

Au final, nous pouvons déduire que pendant cette courte période d'échantillonnage, les résultats obtenus respectent les normes de rejet des eaux épurées et que le fonctionnement de la station d'épuration de Beni Mered est efficace. En perspective, d'autres études doivent être entreprises sur une longue période pour estimer réellement le bon fonctionnement de cette STEP.

A l'avenir, il faudrait :

- ✓ Compléter le traitement biologique à boues activées par un traitement chimique.
- ✓ Mettre en place d'un dispositif de réutilisation des eaux usées dans le secteur de l'irrigation ou du nettoyage.
- ✓ Réaliser des campagnes de sensibilisation pour le non rejet des médicaments (principalement les antibiotiques) dans les eaux usées afin de prévenir la survenue de résistance aux antibiotiques chez les bactéries potentiellement pathogènes.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- **AFNOR, 2005** Associations Françaises de Normalisation.
- **Ahmed RASSAM1, Abdelaziz CHAOUCH1, Brahim BOURKHISS1 et M'barek BOURKHISS ; 2012.** Performances de la dégradation de la matière organique par lagunage aéré dans la station d'épuration des eaux usées de la ville d'Oujda (Maroc oriental). Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège, Vol. 81 2012, p. 121 – 125 ;
- **Ait hamlet, S. 1998.** Contribution à l'étude la qualité de huit oueds de la Wilaya d'EL Taref ; Aspects microbiologiques et écologiques. Thèse de magister en microbiologie appliquée. Université Badji Mokhtar- Annaba. 150p.
- **Amirou M. et Benkaddour I., 2015** : Etude microbiologique et dosage des contaminants pesticides par RRA et métaux lourds par SAA dans une culture maraichère tomate Lycopersicon esculente alimentée par les eaux usées et épurées de la STEP de Baraki, 52p.
- **Baumont, S. 2005.** Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en ile de France. ORS (Observatoire régional de santé d'Ile-de-France), Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région Ile-de-France.222 p.
- **Beaudry Jean-Paul, 1984.** Traitement des eaux. 231p.
- **Bedouh, (2014).** Evaluation 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 – Annaba, 128p.
- **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 pour obtenir le grade de Docteur del'université de Limoges Sfax. pp : 3-4
- **Belghyti, D., El Guamri, Y., Ztit, G., Ouahidi, M., Joti, M., Harchrass, A., ... et Bounouira, H. 2009.** Caractérisation physico-chimique des eaux usées d'abattoir en vue de la mise en œuvre d'un traitement adéquat : cas de Kénitra au Maroc. Afrique Science : Revue Internationale des Sciences et Technologie, 5(2).
- **Bontoux, J.1993.** Introduction à l'étude des eaux douces ; eaux naturelles ; eaux usées et eaux de boisson. Edition Technique et documentation Lavoisier.169p.
- **Boualla N., Hadj hassan B., Benziane A., Derrich Z.2011.**L'expérience Algérienne en matière d'épuration des eaux usées. Science Lib Edition Mersenne : Volume 3, Issue 111115, 8p.
- **Boudenne A., Lebsir W., 2012** : Etude des paramètres physico-chimiques des eaux usées urbaines de Jijel. Cas de la station d'épuration d'El-Rabta. Université de Jijel. P 56.
- **Bourrier R., (2008).**, Les réseaux d'assainissements, 5ème éd, TEC et DOC, Lavoisier.

- **Brasilia, 2013.** Manuel pratique d'analyse de l'eau/National Health Foundation – 4. ed. – Brasilia.150p.
- **Cardot, C. 1999.** Génie de l'environnement : les traitements de l'eau. Paris : Ellipses. 247 p.
- **Cardot, C. 2010.** Génie de l'environnement : les traitements de l'eau. Nouvelle édition. Paris : Ellipses. 302 p.
- **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 méthodologiques et résultats pour les micropolluants en filières conventionnelles et avancées. Extrait numérique de Techniques Sciences Méthodes n° 1/2 de 2011.
- **Degrémont, 2005.** Mémento technique de l'eau : 10ème édition tome1 785p.
- **Dernat, M., Elmerich, P., Pouillot, M., 1994.** Vers une optimisation de la déphosphatation physicochimique. L'Eau. l'Industrie. les Nuisances n°182.
- **Deronzier, G., Choubert, J.m. 2004.** Traitement du phosphore dans les petites stations d'épuration à boues activées : Comparaisons techniques et économiques des voies de traitement biologique et physico-chimique. Cémagref, Lyon. Document Technique FNDAE pp : 29-49.
- **Desjardins, R. 1997.** Le Traitement des eaux. 2 ème edition. Presses internationales polytechnique de Montréal. 304 p.
- **Drioux-Rouzet, L., et Jarlier, V. 2014.** Bactéries multirésistantes dans l'eau : modèles des entérobactéries productrices de bêta-lactamase à spectre étendu. Revue Francophone Des Laboratoires, 75–79p.
- **Dugniolle H, (1980).** L'assainissement des eaux résiduaires domestiques, CSTC - revue n° 3- septembre, pp. 44-52.
- **Dupray, E., Derriena, A. 1995.** Influence du passage de Salmonella spp, et Escherichia coli en eaux usées sur leur survie en eau de mer. Water Research, 29 (4).pp : 1005-1011.
- **El bakkouri, J., Belabbes, H., Zerouali, K., Belaiche , A., Messaouidi, D., Gros claude, J.d.p., El mdaghr, N. 2009.** Resistance aux antibiotiques d'Escherichia coli Uropathogène Communautaire et Consommation d'Antibiotiques à Casablanca (Maroc). European Journal of Scientific Research. 36(1): pp : 49-5.
- **El hachemi, O. 2012.** Traitement des eaux usées par lagunage naturel en milieu désertique (oasis de Figuig): performances épuratoires et aspect phytoplanktonique. Thèse de doctora université mohames premier ouajda maroc.
- **Elskens M.,2010 :** Analyse des eaux résiduaires, Mesure de la pollution. Techniques de l'ingénieur, P4200v2.
- **Enoch, D.A., Simpson, A.J.et Kibbler, C.C. 2004.** Predictive value of isolating pseudomonas aeruginosa from aerobic and anaerobic blood culture. Journal of

Medical Microbiology.

- **FAO. 2003.** Food and Agriculture Organization. L'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation. 73 p.
- **Gatica, J. 2013.** Impact of treated wastewater irrigation on antibiotic resistance in the soil microbiome. Environmental science and pollution research. pp : 3529-3538.
- **Gaudy, C., Buxeraud, J., et Mereghetti, L. 2005.** Antibiotiques. Pharmacologie et thérapeutique). Collection pharma, paris, 272p.
- **Glanic R et Benneton J-P, (1989).** Caractérisation d'effluents d'assainissement individuel et essais de matériels d'assainissement autonome - TSM - L'eau - 84 année - N 11 – pp. 573-584.
- **Gleeson, C. et Gray, N. 1997.** The coliform index and waterborne disease. E & FN Spon. 194 p.
- **Grosclaude ; Gérard ; dir, (1999).** L'eau, tome 1 : Milieu naturel et maîtrise et tome 2 : Usages et polluants. Versailles, Institut National de la recherche.
- **Guiraud J.P. et Rosec J.P. (2004):** Pratique des normes en microbiologie alimentaire. Edition AFNOR. 95p.
- **Hacene , (2016).** Microbiologie fondamentale et Appliquée Tome1, 477p.
- **Hamdi W., Youcefi M., Touil Y., Bougrinat R., Ferhi N., Ould elhadj M.D., 2012.** Contribution à l'étude de quelques caractéristiques physico-chimiques et hygiéniques des eaux usées issues de rejets de certaines localités de cuvette de ouargla (sahara septentrional est algérien) : impact sur le milieu receveur. Algerian journal of arid environment, 2 :56-63.
- **Haskouri .S.2002.** Résistance aux antibiotiques : mécanismes et évolution. Thèse doctorat en pharmacie. Rabat : université Mohamed V faculté de médecine et de pharmacie de rabat.
- **Haslay et Leclerc, 1993.** Microbiologie des eaux d'alimentation. Paris. Ed. Lavoisier Technique et Documentation. 495 p.
- **Hazourli, S., Boudiba, I. et Ziati, M. 2007.** Caractérisation de la pollution des eaux résiduaires de la zone industrielle d'El-Hadjar. Annaba. Larhyss Journal. ISSN1112-3680.n° 06. pp 45-55.
- **Janick Rey, 1994.** Janick Rey. Maladies bactériennes et virales d'origine hydrique. Sciences pharmaceutiques. 1994. ffdumas-01929958f.
- **JORA. 2006.** Décret Exécutif n°06-141, Définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Algérie : JO N° 26 du 23 Avril 2006, Page 4.
- **JORA .2011.**
- **Labres, E., Mouffok, F. 2008.** le cours national d'hygiène et de microbiologie des eaux de boisson. Manuel des travaux pratiques des eaux. Institut Pasteur d'Algérie. 53p.
- **Lebres. 2002.** Manuel des travaux pratiques, cours national d'hygiène et de microbiologie des aliments, unité microbiologie des laits et des produits, laitiers, institut pasteur d'Algérie.

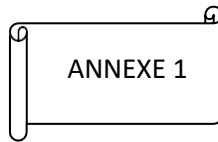
- **Leclerc, H., Gaillard, G.L. et Simonet, M. 1995.** Microbiologie générale : la bactérie et le monde bactérien. Paris. Ed. Doin. 535p.
- **Leson, G., Winer A.M. 1991.** Biofiltration: an innovative air pollution control technology for VOC emissions JI of the Air & Waste Management Assoc. 41(8). pp: 1045-1054.
- **Lister, P.D., Wolter, D.J. AND Hanson, N.D. 2009.** Antibacterial-resistant *Pseudomonas aeruginosa*: clinical impact and complex regulation of chromosomally encoded resistance mechanisms. Clin Microbiol Rev 22. pp : 582-610.
- **Lullman.H., Mohr.K., Ziegler.I.1998.** Atlas de poche de pharmacologie 2^{ème} édition Flammarion Médecine-Sciences ,380p.
- **Mansouri F., (2012).**, Contribution à l'étude d'extension de la station d'épuration Ouest Tizi-Ouzou (Boukhalfa), Mémoire d'ingénieur d'état en agronomie, UMMTO, 77p.
- **Martinez, J. L. 2009.** Environmental pollution by antibiotics and by antibiotic resistance determinants Environment Polluton. 157pp : 2893–2902.
- **Metahri, M.S. 2012.** Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux traitées par des procédés mixte. Cas de STEP Est de la ville de Tizi ouzou. Thèse de doctorat. Tizi Ouzou: Université; Mouloud Mammeri, Faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques: Agronomie . Génie des procédés. 167p.
- **Mohr, K. I. 2016.** History of Antibiotics Research. In: Stadler M., Dersch P. (eds) How to Overcome the Antibiotic Crisis. Current Topics in Microbiology and Immunology, vol 398. Springer, Cham.
- **Momba, M.N.B., Malakate, V.K., Therron, J.2006.** Abundance of pathogenic *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium* and *Vibrio cholerae* in Nkonkobe drinking water sources. Journal of water and health 4 (3) :289-296 monitorings .Global Environment Monitoring system. WHO. UNEP.
- **Nauciel, C., Vildé, J. L. 2005.** Action des antibiotiques sur les bactéries. Bactériologie Médicale : *connaissance et pratique*, 2nd (ed). Elsevier Masson.
- **OMS.1989.** l'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture recommandations à visées sanitaires. Rapport d'un groupe d'experts de l'OMS. Série de rapports techniques.778 OMS.
- **OMS, (2004).** Directive de qualité pour l'eau de boisson : Vol2 : critères d'hygiène et documentation à l'appui. Genève, p : 1050.
- **OMS, 2003.**
- **ONA. 2003.** (organisme national de l'assainissement).
- **ONA. 2019.** (organisme national de l'assainissement).
- **Ouanouki, B.2014.** Gestion de l'environnement. Traitement des eaux usées. Edition

pages bleues.

- **Pitkanen, T. 2010.** Studie on the detection methods of campylobacter and faecal indicator bacteria in drinking water. National Institute for Health and Welfare. Finland. 118P.
- **Pons M.N., Belhani M., Bourgeois J., Dupuit E., 2008 :** Analyse du cycle de vie, Epurations des eaux usées urbaines. Techniques de l'ingénieur, G5820.
- **Prescott, L.M., Harley, J.P., Klein, D.A., Bacq-calberg, C.M. et Dusart, J. 2010.** Microbiologie. 3^{ème} édition. Bruxelles : BOECK UNIVERSITE. 1164 p.
- **Rahal, K., Benslimani, A., Tali-maamar.H. 2020.** Standardisation des tests de la sensibilité aux antibiotiques à l'échelle nationale. Edité avec la collaboration de L'OMS. 8^{ème} édition. Algérie.
- **Ramade F., 1984 :** Eléments d'écologie-écologie fondamentale. Ed Mac Graw-Hill. Paris, 397p
- **Rejesk, F. 2002.** Les analyses des eaux. Tome II. France. Aspects réglementaires et Techniques. 360p.
- **Rodier J., Bazin C., Broutin J.-P., Chambon P. et Rodi L., 2005.** Analyse de l'eau ; eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer, 8^{ème} édition, Dunod, Paris, 1383p
- **Rodier, J. 1984.** L'analyse de l'eau, Eaux naturelles, Eaux résiduaires et Eaux de mer, 7^{ème} édition. Dunod. Paris.
- **Rodier, J., Legube, B., Mertel, N. et Brunet, R. 2009.** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 9^{ème} édition. Paris : DUNOD. 1525 p.
- **Rusin, P. A., Maxwell, S. L., Brooks, J. P., Gerba, C. P., & Pepper, I. L. 2003.** Response to comment on "Evidence for the absence of Staphylococcus aureus in land applied biosolids". *Environmental Science & Technology*, 37(24), 5836-5836.
- **Schmidt, P. 2005.** Guide pratique de l'eau et de l'assainissement. Edition Bergerlevrault. Paris. 281p.
- **Sefraoui, I. 2015.** Etude de la résistance aux antibiotiques de Pseudomonas aeruginosa au niveau de différents hôpitaux de l'ouest algérien. Thèse de doctorat. Tlemcen : Abou Bekr Belkaid, faculté des sciences de la nature et de la vie et sciences de la terre et de l'univers. 78p.
- **Servias P., Castignolles N., Petit F., George I., Janvresse B.F., Ficht A., 1999.** Contaminations bactérienne et virale, ifremer, paris : 2-26.
- **Sevrin-reyssac, J., De la noüe, J., Proulx, d. 1995 .** Le recyclage dulisier de porc par lagunage. Edition Technique et Documentation Lavoisier p118.
- **Shuval, H.I. 1991.** Health guidelines and standards for wastewater reuse in agriculture: Historical perspectives. *Water Science and Technology*, 23(10-12), 2073-2080.
- **Singleton, P. 2005.** Bactériologie pour la médecine. La biologie et la Biotechnologie. Ed. Dunod. Paris, 542p.

- **Tortora, G. J., Funke, B. R., Case, C.L. 2018.** Antimicrobial Drugs. In Microbiology: an introduction. 13th (ed). (pp 558-596). Boston: Pearson.
- **Veolia, 2017.**
- **Vilagines, Roland.2003.** Eau environnement et santé publique. Introduction à l'hydraulique. 2^{ème} édition. Edition Tec et Doc. Paris. 198 p.
- **Willcox, M.D.2007.** Pseudomonas aeruginosa infection and inflammation during contact lens wear: a review. Optometry and vision Science: Official Publication of the American Academy of Optometry.
- **World Health Organization (WHO). 1987.** Factors affecting treatment in ponds In Wastewater Stabilization pond: Principles of Planning and Practice, FMRO Technical Publication, 10, Alexandria.

Annexes



❖ **Matériel pour les analyses physicochimiques**

Appareillages

- Balance.
- Balance de précision.
- Bêchers.
- Bloc chauffant HACH LT 200.
- Conductimètre HACH HQ430d.
- Creusets.
- Dessiccateur.
- DBO mètre HACH BOD Direct plus.
- Dispositif de filtration.
- Eprouvettes 100ml.
- Etuve memmert.
- Flacons avec bouchons pour DBO5.
- Incubateur pour DBO5 Lavibond.
- Micropipette.
- Oxymètre HACH HQ430d.
- Papier filtre.
- pH-mètre HACH sensION.
- Pompe à vide.
- Réfrigérateur.
- Sonde thermométrique Pocket pro (Hach).
- Spectrophotomètre HACH DR 3900.

➤ **Colorants, réactifs et produits chimiques**

- Eau distillée.
- Inhibiteur de nitrification HACH LZQ087.
- Solution d'hydroxyde de potassium N12.
- LCK 238

- LCK 303
- LCK 314
- LCK 338
- LCK 339
- LCK 341
- LCK 348
- LCK 350
- LCK 514



Figure 29 : Exemple de boîte Hach LCK (originale 2021)

❖ **Matériels pour les analyses bactériologique**

➤ **Appareillage et verreries**

- Bain marrie.
- Bec bunsen.
- Boîtes pétries.
- Etuve.

- Flacon 180 ml stérile.
- Flacon 500 ml stérile.
- Glacier.
- Lame et lamelle.
- Lance de platine.
- Microscope optique.
- Pince stérile.
- Pipette paster.
- Portoire.
- Réfrigérateur.
- Seringue.
- Tubes à essai stériles.
- **Réactifs et additifs et solution**
- Alcool.
- Alun de fer.
- Disque d'antibiotique.
- Disque d'ONPG.
- Disque d'oxydase.
- Eau distillée.
- Eau oxygénée.
- Eau physiologique.
- Fushine.
- Huile a immersion.
- Huile de vaseline.
- Lugol.
- Réactif Kovacs.
- Réactif Nitrate 1 et nitrate 2.
- Réactif TDA.
- Réactif Vp1 et Vp2.
- Réactif Zim A et Zim B.
- Rouge de méthyle.
- Sulfite de sodium.
- Telurite de potassium.
- Violet de gentiane.

➤ **Milieu de culture**

- **Bouillon lactosé au bromocrésol pourpre BCPL (simple concentration et double concentration)**

Constituant	Quantité (S/C)	Quantité (D/C)
Peptone	5g	10g
Extrait de viande	3g	6g
Lactose	10g	20g
Pourpre de bromocrésol	0,3g	0,6g
Bacto agar difco	15g	30g
Eau distillé	1000ml	2000ml
Ph	6,8 - 7	6,8 – 7

- **Bouillon de Schubert**

Constituant	Quantité
Tryptophane	0,2g
Acide glutamique	0,2g
Sulfate de magnésium	0,7g
Citrate de sodium	0,5g
Sulfure d'ammonium	0,4g
Chlorure de sodium	2g
Peptone	10g
Mannitol	7,5g
Phosphate disodique	4g
Phosphate monopotassique	0,6g
Eau distillé	500ml
Ph	7,4

- **Milieu ROTHE (simple concentration et double concentration)**

Constituant	Quantité (S/C)	Quantité (D/C)
Hydrolysats trypsique de casaeine	12,6 g	25,2 g
Peptone	8g	16g
Glucose	5g	10g
Chlorure de sodium	5g	10g
Monohydrogénophosphate de potassium	2,7g	5,4
Dihydrogénophosphate de potassium	2,7g	5,4g
Azide de sodium	0,2g	0,4g
Ph	6,8 - 7	6,8 – 7

- **Milieu EVA Litsky**

Constituant	Quantité
Eau déionisée	1000ml
Peptone	20g
Glucose	5g
Chlorure de sodium	5g
Monohydrogénophosphate de potassium	2,7g
Dihydrophosphate de potassium	2,7g
Azide de sodium	0,3g
Solution d'ethyl violet	5ml
Ph	6,8 – 7

▪ **Bouillon au sélénite de sodium cystéine SFB**

Constituant	Quantité
Lactose	4g
Tryptophane	5g
Sélénite de sodium	0,01g
Phosphate di sodique	10g
L-Cystine	0,01g
Eau distillé	1000ml
Ph	7,2

• **Gélose Viande Foie (VF)**

Constituant	Quantité
Base viande foie	30g
Glucose	2g
Agar	6g
Eau distillé	1000ml
pH	7,6

▪ **Gélose Heckoten**

Constituant	Quantité
Peptone pepsique de viande	12g
Extrait de levure	3g
Sels biliaires	9g
Lactose	12g
Saccharoses	12g
Salicine	2g
Chlorure de sodium	5g
Hyposulfite de sodium	5g
Citrate de fer ammoniacal	1,5g
Bleu de bromothymol	0,064g
Fushine acide	0,014g
Gélose	15g
pH	7,6

• **Gélose Chapman**

Constituant	Quantité
Peptone	10g
Extrait de viande	1g
Chlorure de sodium	75g
Mannitol	10g
Agar	15g
Rouge de phénol	0,025g
Eau déionisé	1000ml
pH	7,6

▪ **Gélose au Cétrimide**

Constituant	Quantité
Peptone	20g
Chlorure de magnésium	3g
Sulfate de potassium	10g
Monohydrogénophosphate de potassium	0,3g
Cétrimide	0,2g
Acide nalidixique	0,015g
Gélose	12g
Eau déionisé	1000ml
pH	7,1

▪ **Gélose King A**

Constituant	Quantité
Peptone bactériologique A	20g
Sulfate de potassium anhydre	10g
Chlorure de magnésium	1,4g
Glycérol	10ml
Gélose	15g
Eau déionisé	1000ml
pH	7,2

- **Gélose King B**

Constituant	Quantité
Peptone bactériologique B	20g
Glycérol	10ml
Hydrogénophosphate de potassium	1,5g
Sulfate de magnésium hydraté	1,5g
Agar purifié	12g
pH	7,2

- **Gélose Muller-Hinton Agar**

Constituant	Quantité
Infusion de viande foie de bœuf déshydratée	300g
Hydrolysate de caséine	17,5g
Amidon de maïs	1,5g
Agar agar	13g
Eau distillée	1000ml
Ph	7,2-7,4

Tableau XXI : Système de mesure de la DBO et volumes correspondants

Plage de mesure DBO en mg/l	Volume d'échantillon en ml	Dosage de l'inhibiteur de nitrification
0-40	428	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 gouttes

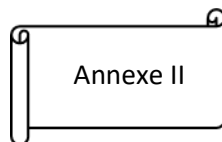


Tableau XXII : Rendement minimum d'élimination

	Effluents/ traité	1-(effluents traité/ effluents brutes)
Paramètres	Concentration (mg/l)	Rendement Minimum d'élimination
BDO5	25	80
DCO	125	75
MES	35	90

Tableau XXIII : Rendement d'épuration de la DCO et de la DBO

	DCO (mg/l)	DBO (mg/l)
EB	878.714	329.125
EE	70.833	14.75
Rendement %	92.12	95.53

Tableau XXIV : Rendement d'épuration des Coliformes Totaux et Coliformes Fécaux

	CT	CF
EB	$153.875 \cdot 10^2$	$63.25 \cdot 10^2$
EE	98.125	34.625
Rendement %	99.18	86.67

Tableau XXV : Normes physico-chimiques de rejet selon l'OMS 2006 et JORA 2006,2011,2013

Paramètre	Unité	Norme	
		JORA	OMS
Température	°C	30	30
pH	-	6.5-8.5	6.5-8.5
CE	µS/Cm	2800	-
MES	mg/l	30	30
DCO	mg/l	90	90
DBO5	mg/l	30	30
Nitrates	mg/l	50	50
Nitrites	mg/l		
Ammonium	mg/l		
Ortho-Phosphates	mg/l	-	2
Oxygène dissout (OD)	mg/l	-	5

Tableau XXVI : Nombres plus probable

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

Tableau XXVII : Table de lecture de la galerie biochimique API 20E

Microtube	Substrat	Caractère recherché	Lecture directe ou indirecte (Test si nécessaire)	Résultat +	Résultat -
ONPG	Ortho-Nitro-Phényl-Galactoside	β -galactosidase	Lecture directe		
ADH LDC ODH	Arginine Lysine Ornithine	Arginine dihydrolase Lysine décarboxylase Ornithine décarboxylase	Lecture directe		
CIT	Citrate	Utilisation du citrate	Lecture directe		
H ₂ S	Thiosulfate de sodium	Production d'H ₂ S	Lecture directe		
URE	Urée	Uréase	Lecture directe		
TDA	Tryptophane	Tryptophane désaminase	Lecture indirecte Test : ajouter 1 goutte de Perchlorure de Fer		
IND	Tryptophane	Production d'indole	Lecture indirecte Test : ajouter 1 goutte de réactif de Kovacs		
VP	Pyruvate de sodium	Production d'acétoïne	Lecture indirecte (Attendre 10 minutes) Test : ajouter 1 goutte de KOH et d' α -naphthol		
GEL	Gélatine emprisonnant des particules de charbon	Gélatinase	Lecture directe		
GLU à ARA	Substrat carboné	Utilisation de substrat carboné	Lecture directe		
NO ₂ / N ₂	Nitrates (NO ₃)	Nitrate réductase	Lecture indirecte dans la cupule GLU Test : ajouter 1 goutte de réactif de Griess Ajouter de la poudre zinc en cas de résultat négatif		

Tableau XXVIII : Table de lecture de la galerie biochimique API STAPH

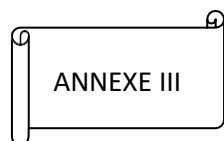
TESTS	COMPOSANTS ACTIFS	QTE (mg/cup.)	REACTIONS / ENZYMES	RESULTAT			
				NEGATIF	POSITIF		
0	Aucun		Témoin négatif	rouge	—		
GLU	D-glucose	1,56	(Témoin positif) (D-GLUcose)	rouge *	jaune		
FRU	D-fructose	1,4	acidification (D-FRUctose)				
MNE	D-mannose	1,4	acidification (D-ManNosE)				
MAL	D-maltose	1,4	acidification (MALtose)				
LAC	D-lactose (origine bovine)	1,4	acidification (LACtose)				
TRE	D-tréhalose	1,32	acidification (D-TREhalose)				
MAN	D-mannitol	1,36	acidification (D-MANnitol)				
XLT	xylitol	1,4	acidification (XyLITol)				
MEL	D-mélibiose	1,32	acidification (D-MELibiose)				
NIT	nitrate de potassium	0,08	Réduction des NITrates en nitrites			NIT 1 + NIT 2 / 10 min incolore-rose pâle	rouge
PAL	β -naphtyl phosphate	0,0244	Phosphatase ALcaline			ZYMA + ZYMB / 10 min jaune	violet
VP	sodium pyruvate	1,904	production d'acétyl méthyl-carbinol (Voges Proskauer)			VP 1 + VP 2 / 10 min incolore-rose pâle	violet-rose
RAF	D-raffinose	1,56	acidification (RAFfinose)	rouge	jaune		
XYL	D-xytose	1,4	acidification (XYLose)				
SAC	D-saccharose	1,32	acidification (SACcharose)				
MDG	méthyl- α D-glucopyranoside	1,28	acidification (Méthyl- α D-Glucopyranoside)				
NAG	N-acétyl-glucosamine	1,28	acidification (N-Acétyl-Glucosamine)				
ADH	L-arginine	1,904	Arginine DiHydrolase			jaune	orange-rouge
URE	urée	0,76	UREase	jaune	rouge-violet		

Tableau XXIX : Résultats bactériologiques de la station d'épuration de Beni Mered

Germe	CT		CF		SF		ASR		PSEUDOMONAS		SATPHYLOCOQUE		SALMONELLE		VIBRIO	
	EB	EE	EB	EE	EB	EE	EB	EE	EB	EE	EB	EE	EB	EE	EB	EE
P1 : 04-04-2021	3x10 ²	5	3x10 ²	5	21x10 ²	18	165x10 ²	136	+	-	-	-	-	-	-	-
P2 : 11-04-2021	21x10 ²	28	8	18	18x10 ²	18	IND	IND	+	+	-	-	-	-	-	-
P3 : 18-04-2021	7x10 ²	3	0	0	18x10 ²	5	IND	0	-	-	-	-	-	-	-	-
P4 : 02-05-2021	>240x10 ²	24	9x10 ²	6	>240x10 ²	54	IND	IND	-	-	-	-	-	-	-	-
P5 : 16-05-2021	>240x10 ²	>240	4x10 ²	2	>240x10 ²	>240	37x10 ²	0	+	-	+	+	-	-	-	-
P6 : 23-05-2021	>240x10 ²	>240	2x10 ²	1	>240x10 ²	>240	0	0	+	+	-	-	-	-	-	-
P7 : 30-05-2021	>240x10 ²	>240	>240x10 ²	>240	>240x10 ²	>240	1x10 ²	0	+	-	-	-	-	-	-	-
P8 : 06-06-2021	>240x10 ²	5	>240x10 ²	5	>240x10 ²	>240	18x10 ²	2	+	-	-	-	-	-	-	-

Tableau XXX : Résultats physico-chimiques de la station d'épuration de Beni Mered

Paramètres Prélèvements	PH		T C°		CE (µc/cm)		OD (mg/L)		MES (mg/L)		NT (mg/L)		PT (mg/L)		DCO (mg/l)		DB05(mg/l)	
	EB	EE	EB	EE	EB	EE	EB	EE	EB	EE	EB	EE	EB	EE	EB	EE	EB	EE
P1 : 04-04-2021	7,82	7,54	19,02	20,1	1305	1209	2,01	4,59	332,6	16	99,7	32,2	15,2	10,2	959	83	292	7
P2 : 11-04-2021	7,3	7,39	22,2	21,1	1622	1500	0,12	3,72	318,3	13	128,4	39,8	10,2	4,84	881	69	367	18
P3 : 18-04-2021	7,59	7,38	18,7	18,9	1551	877	0,13	4,95	412,3	17	156,9	45,6	11,3	3,5	1123	46,2	272	9
P4 : 02-05-2021	7,37	7,41	21,7	20,5	1806	1428	0,25	5,23	423,33	4					987	79	317	14
P5 : 16-05-2021	7,83	7,61	23	24,6	1762	1762	0,1	4,73	273,2	10					633	59	348	18
P6 : 23-05-2021	7,73	7,6	24,5	24,7	1726	1459	0,11	3,75	316,6	8					788	63	356	16
P7 : 30-05-2021	7,56	7,5	23,8	24,5	1749	1333	0,14	5,17	224,6	8					788	63	356	16
P8 : 06-06-2021	7,77	7,24	23,7	24,1	1596	1243	0,19	0,48									280	14



ANNEXE III

Tableau XXXI : Noms, abréviations et charge d'antibiotiques utilisés

Antibiotiques teste	Abréviation	Charge des disque
Ampicilline	AMP	10 µg
Amoxicilline + acide clavulanique	AMC	20/10 µg
Amikacine	AK	30 µg
Azetronam	AT	30 µg
Cefazoline	CZ	30 µg
Cefxitine	CX	30 µg
Cefotaxine	CTX	30 µg
Ciprofoxacine	CIP	50 µg
Chloramphenicol	C	30 µg
Erythromycine	E	15 µg
Gentamicine	GEN	10 µg
Pénicilline	P	10 µg
Oxacilline	OX	10 µg
Vancomycine	VA	30 µg

Tableau XXXII : Valeurs critiques des diamètres des zones d'inhibition et des CMI pour les Entérobactéries

Table de lecture 1* : Valeurs critiques des diamètres des zones d'inhibition et des CMI pour Entérobactéries.

Antibiotiques testés	Charge des disques	Diamètres critiques (mm)			CMI critiques (µg/ml)			Commentaires
		R	I	S	R	I	S	
Ampicilline	10µg	≤ 13	14 – 16	≥ 17	≥ 32	16	≤ 8	La réponse à l'ampicilline est valable pour l'amoxicilline.
Amoxicilline + Ac.clavulanique	20/10µg	≤ 13	14 – 17	≥ 18	≥ 32/16	16/8	≤ 8/4	Les breakpoints des céphalosporines et de l'aztréonam ont été révisés en fonction des propriétés PK-PD et des données cliniques. Ainsi, l'application de ces breakpoints dépend du respect de posologies précises : céfazoline (2g toutes les 8h), céfotaxime (2g toutes les 8h), céfotaxime (1g toutes les 8h).
Céfazoline	30µg	≤ 19	20 – 22	≥ 23	≥ 8	4	≤ 2	Suite à la révision des breakpoints des céphalosporines, la lecture interprétative anciennement basée sur la détection ou non d'une BLSE, n'est plus nécessaire. La réponse R, I ou S se fait en se référant aux seuls diamètres mesurés.
Céfotaxime	30µg	≤ 14	15 – 17	≥ 18	≥ 32	16	≤ 8	
Céfotaxime	30µg	≤ 22	23 – 25	≥ 26	≥ 4	2	≤ 1	A souligner cependant que la détection phénotypique de la BLSE garde tout son intérêt dans les études épidémiologiques et en hygiène hospitalière.
Céfazoline (infections non compliquées du tractus urinaire)	30µg	≤ 14	—	≥ 15	≥ 32	—	≤ 16	Les résultats de la céfazoline permettent de prédire les résultats pour les céphalosporines orales : céfador, céfdinir, céfepodoxime, céfprozil, céfuroxime axétil, céfalexine et loracarbef quand elles sont utilisées pour le traitement des infections non compliquées du tractus urinaire dues à <i>E. coli</i> , <i>K. pneumoniae</i> et <i>P. mirabilis</i> . Céfepodoxime, céfdinir et céfuroxime axétil peuvent être testés individuellement car certaines souches peuvent être sensibles à ces antibiotiques alors qu'elles sont résistantes à la céfazoline. L'application de ces breakpoints dépend du respect des posologies suivantes : 1g toutes les 12h.
Aztréonam	30µg	≤ 17	18 – 20	≥ 21	≥ 16	8	≤ 4	Les critères d'interprétation sont basés sur la posologie de 1g toutes les 8h.
Imipénème	10µg	≤ 19	20 – 22	≥ 23	≥ 4	2	≤ 1	Les breakpoints des carbapénèmes ont été révisés en fonction des propriétés PK-PD et des données cliniques. L'application de ces breakpoints dépend du respect des posologies suivantes : Imipénème : 500 mg toutes les 6h ou 1 g toutes les 8h, Ertapénème : 1g toutes les 24h.
Méropénème	10µg	≤ 19	20 – 22	≥ 23	≥ 4	2	≤ 1	
Ertapénème	10µg	≤ 18	19 – 21	≥ 22	≥ 2	1	≤ 0.5	La détection phénotypique d'une carbapénémase par le test MHT est réservée aux études épidémiologiques.
Amikacine	30µg	≤ 14	15 – 16	≥ 17	≥ 64	32	≤ 16	
Gentamicine	10µg	≤ 12	13 – 14	≥ 15	≥ 16	8	≤ 4	
Acide nalidixique	30µg	≤ 13	14 – 18	≥ 19	≥ 32	—	≤ 16	La sensibilité diminuée aux fluoroquinolones est détectée chez les salmonelles isolées d'infections extra-intestinales en testant l'acide nalidixique à l'antibiogramme.
Ciprofloxacine	5µg	≤ 21	22 – 25	≥ 26	≥ 1	0,5	≤ 0,25	Valable pour les entérobactéries autres que <i>Salmonella Typhi</i> et <i>Salmonella</i> spp.
Ciprofloxacine <i>Salmonella</i> spp.	5µg	≤ 20	21 – 30	≥ 31	≥ 0,06	0,12 - 0,5	≤ 1	
Chloramphénicol	30µg	≤ 12	13 – 17	≥ 18	≥ 32	16	≤ 8	Ne pas reporter en routine pour les souches isolées d'ITU sauf pour les salmonelles. Valable pour <i>S.Typhi</i> et <i>Salmonella</i> spp. extra-intestinales.
Colistine	CMI	—	—	—	>2**	—	≤2**	La détermination de la CMI par microdilution en milieu liquide, CBDE (technique d'éluion des disques) et CAT (dilution en milieu gélosé) sont acceptables (voir tests complémentaires). Le disque et le E-test ne doivent pas être utilisés*. Pour l'usage thérapeutique des polymyxines se référer à l'International consensus guidelines***
Furanes	300µg	≤ 14	15 – 16	≥ 17	≥ 128	64	≤ 32	
Fostomycone	200µg	≤ 12	13 – 15	≥ 16	≥ 256	128	≤ 64	Indiqué uniquement pour les souches d' <i>E. coli</i> isolées d'infections urinaires. Le disque de 200µg contient 50µg de glucose-6-phosphate. La CMI est déterminée par la technique de dilution en gélosé supplémentée de 25µg/ml de glucose 6-phosphate.
Triméthoprim+ Sulfaméthoxazole	1,25/ 23,75µg	≤ 10	11 – 15	≥ 16	≥ 4/76	—	≤ 2/38	

*Tableau extrait du Document M100, 30th ed. 2020. Performance standards for antimicrobial susceptibility testing. ** Extraits des recommandations de l'EUCAST 2020.

***Tsuji BT, Pogue JM, Zavazcki AP, et al. International consensus guidelines for the optimal use of the polymyxins. (Pharmacotherapy 2019, 39 (1): 10-39) doi: 10.1002/phar.2209

Abbréviations : PK-PD : Pharmacocinétique – pharmacodynamique, BLSE : β-Lactamase à Spectre Étendu.

MHT : Modified Hodge Test, ITU : Infection du Tractus Urinaire, CMI : Concentration Minimale Inhibitrice, CBDE : Colistin Broth Disk Elution, CAT : Colistin Agar Test.

Tableau XXXIII : Valeurs critiques des diamètres des zones d'inhibition et des CMI pour les *Pseudomonas aeruginosa*.

Table de lecture 2* : Valeurs critiques des diamètres des zones d'inhibition et des CMI pour *Pseudomonas aeruginosa*.

Antibiotiques testés	Charge des disques	Diamètres critiques (mm)			CMI critiques (µg/ml)			Commentaires
		R	I	S	R	I	S	
Ticarcilline**	75 µg	≤ 15	18-23	≥ 24	≥ 128	32 - 64	≤ 16	Les valeurs critiques pour la piperacilline (avec ou sans tazobactam) et la ticarcilline (avec ou sans ac clavulanique), sont basées sur une posologie d'au moins 3g toutes les 6 h.
Ticarcilline + ac. clavulanique	75/10µg	≤ 15	18-23	≥ 24	≥ 128/2	32/2 - 64/2	≤ 16/2	Détecter une BLSE en plaçant le disque de TCC entre le disque de CAZ et le disque d'ATM.
Piperacilline	100 µg	≤ 14	15-20	≥ 21	≥ 128	32 - 64	≤ 16	L'application des breakpoints pour les céphalosporines dépend du respect de posologies précises, ceftazidime et aztréonam : 1 g toutes les 6h ou 2g toutes les 8h.
Piperacilline+ tazobactam	100 µg/10 µg	≤ 14	15-20	≥ 21	≥ 128/4	32/4- 64/4	≤ 16/4	
Ceftazidime	30 µg	≤ 14	15-17	≥ 18	≥ 32	16	≤ 8	
Aztréonam	30 µg	≤ 15	16-21	≥ 22	≥ 32	16	≤ 8	
Imipénème	10 µg	≤ 15	16-19	≥ 19	≥ 8	4	≤ 2	En cas de diamètre R ou I, faire une détection de carbapénémases
Meropénème	10 µg	≤ 16	16-18	≥ 19	≥ 8	4	≤ 2	Valeurs critiques basées sur une posologie de 1g toutes les 8 h ou 500mg toutes les 6 h.
Amikacine	30 µg	≤ 14	15-16	≥ 17	≥ 64	32	≤ 16	
Gentamicine	10 µg	≤ 12	13-14	≥ 15	≥ 16	8	≤ 4	
Netilmicine	30 µg	≤ 12	13-14	≥ 15	≥ 32	16	≤ 8	
Tobramycine	10 µg	≤ 12	13-14	≥ 15	≥ 16	8	≤ 4	
Ciprofloxacine	5µg	≤ 18	19-24	≥ 25	≥ 2	1	≤ 0,5	
Lévofloxacine	5µg	≤ 14	15-21	≥ 22	≥ 4	2	≤ 1	
Fostomycine***	--	--	--	--	--	--	--	Des observations cliniques suggèrent que les infections dues à des souches pour lesquelles la CMI de la fostomycine est ≤ 128 mg/L (ECOFF) pourraient être traitées avec de la fostomycine.
Colistine	CMI	--	--	--	≥ 4****	--	≤ 2****	La détermination de la CMI par microdilution en milieu liquide, CBDE (technique d'éluion des disques) et CAT (Dilution en milieu gélosé) sont acceptables (voir tests complémentaires). Le disque et le E-test ne doivent pas être utilisés*. Pour l'usage thérapeutique des polymyxines se référer à l'international consensus guidelines****

*Tableau extrait du Document M100, 30th ed, 2020, Performance standards for antimicrobial susceptibility testing.
 ** Extrait du document M100 S25 2015, Performance standards for antimicrobial susceptibility testing.
 *** Extraits des recommandations 2020 du CASFM/EUCAST.
 ****Extrait du Document M100, 29th ed, 2019, Performance standards for antimicrobial susceptibility testing.
 *****Tsujii BT, Pogue JM, Zavacki AP, et al. International consensus guidelines for the optimal use of the polymyxins. (Pharmacotherapy 2019; 39(1): 10-38) doi: 10.1002/phar.2209
 Abréviations : BLSE : β-Lactamase à Spectre Étendu. TCC : ticarcilline + acide clavulanique. CAZ : ceftazidime, ATM, aztréonam.
 CMI : Concentration Minimale Inhibitrice. ECOFF: Epidemiological cut-off value. CBDE : Colistin Broth Disk Elution, CAT : Colistin Agar Test.
<http://www.sante.dz/aam/>

Tableau XXXIV : Valeurs critiques des diamètres des zones d'inhibition et des CMI pour les *staphylococcus spp.*

Standardisation des tests de sensibilité aux antibiotiques à l'échelle nationale en médecine humaine

9^{ème} édition 2020

Table de lecture 5* : Valeurs critiques des diamètres des zones d'inhibition et des CMI pour *Staphylococcus spp.*

Antibiotiques testés	Charge des disques	Diamètres critiques (mm)			CMI critiques (µg/ml)			Commentaires
		R	I	S	R	I	S	
Pénicilline	10 UI	≤ 28	—	≥ 29	≥ 0,25	—	≤ 0,12	Le test de la β-lactamase confirme les cas douteux. Interprétation valable pour toutes les pénicillines inactivées par les β-lactamases (ampicilline, ticarcilline, piperacilline...).
Oxacilline (<i>S.aureus</i> et <i>S.lugdunensis</i>)	—	—	—	—	≥ 4	—	≤ 2	Le disque d'oxacilline n'est pas fiable. Tester le disque de céfoxitine 30 µg pour détecter la résistance à la méticilline de <i>S.aureus</i> et des staphylocoques à coagulase négative.
Céfoxitine (<i>S.aureus</i> et <i>S.lugdunensis</i>)	30 µg	≤ 21	—	≥ 22	≥ 8	—	≤ 4	Pour les staphylocoques (autre que <i>S.lugdunensis</i> , <i>S.epidermidis</i> , <i>S.pseudintermedius</i> et <i>S.schleiferi</i>) les isolats dont la CMI à l'oxacilline est comprise entre 0.5 et 2 µg/ml peuvent être MecA négatif. Pour les infections sévères, ces souches peuvent être testées pour le MecA ou la PLP2a, si le résultat est négatif elles peuvent être reportées sensibles à l'oxacilline.
Oxacilline (S.C.N. sauf <i>S.lugdunensis</i>)	—	—	—	—	≥ 0,5	—	≤ 0,25	
Céfoxitine (S.C.N. sauf <i>S.lugdunensis</i> , <i>S.pseudintermedius</i> et <i>S.schleiferi</i>)	30 µg	≤ 24	—	≥ 25	—	—	—	
Gentamicine	10 µg	≤ 12	13 – 14	≥ 15	≥ 16	8	≤ 4	Les souches résistantes à la gentamicine sont résistantes à tous les autres aminosides sauf à la streptomycine. **
Amikacine (<i>S.aureus</i>)	30 µg	≤ 16	—	≥ 18	≥ 16	—	≤ 8	La détermination de la résistance à l'amikacine est mieux détectée avec la kanamycine :
Amikacine (SCN)	30 µg	≤ 19	—	≥ 22	≥ 16	—	≤ 8	kanamycine (30 µg) : R < 18 mm pour <i>S.aureus</i> , R < 22 mm pour les SCN. **
Erythromycine	15 µg	≤ 13	14 – 22	≥ 23	≥ 8	1-4	≤ 0,5	Détecter la résistance inducible en plaçant le disque d'érythromycine à côté du disque de clindamycine. En présence d'une image d'antagonisme, répondre « Résistance à l'érythromycine et à la clindamycine ».
Clindamycine	2 µg	≤ 14	15 – 20	≥ 21	≥ 4	1-2	≤ 0,5	
Vancomycine (<i>S.aureus</i>)	CMI	—	—	—	≥ 16	4 + 8	≤ 2	Le disque de vancomycine ne permet pas de différencier les souches vanco « S » et « I » de <i>Staphylococcus aureus</i> , ni de différencier les souches vanco « S », « I » et « R » de S.C.N., car les diamètres d'inhibition sont similaires. La détermination de la CMI de la vancomycine est obligatoire.
Vancomycine (SCN)	CMI	—	—	—	≥ 32	8 - 16	≤ 4	
Teicoplanine	CMI	—	—	—	≥ 32	16	≤ 8	
Ofloxacine	5 µg	≤ 14	15 – 17	≥ 18	≥ 4	2	≤ 1	
Ciprofloxacine	5 µg	≤ 15	16 – 20	≥ 21	≥ 4	2	≤ 1	
Lévofloxacine	5 µg	≤ 15	16 – 18	≥ 19	≥ 4	2	≤ 1	
Triméthoprime+ sulfaméthoxazole	1,25/23,75 µg	≤ 10	11 – 15	≥ 16	≥ 4/16	—	≤ 2/38	
Rifampicine	5 µg	≤ 16	17 – 19	≥ 20	≥ 4	2	≤ 1	
Tétracycline	30 µg	≤ 14	15 – 18	≥ 19	≥ 16	8	≤ 4	Les souches sensibles à la tétracycline, sont sensibles à la doxycycline et à la minocycline.
Chloramphénicol	30 µg	≤ 12	13 – 17	≥ 18	≥ 32	16	≤ 8	
Quinupristine-dalfopristine	15 µg	≤ 15	16 – 18	≥ 19	≥ 4	2	≤ 1	A reporter pour les souches de <i>S.aureus</i> méticillino-sensibles. Interprétation valable pour la pristinamycine.
Acide fusidique**	10 µg	< 24	—	≥ 24	> 1	—	≤ 1	
Fosfomycine IV**	200 µg	< 23	—	≥ 23	> 32	—	≤ 32	La méthode de référence pour la détermination de la CMI est la dilution en milieu gélosé en présence de glucose-6-phosphate (25 mg/l)

Tableau extrait du Document M100, 30th ed., 2020. Performance standards for antimicrobial susceptibility testing.

** Extraits des recommandations du CASF/EUCAST 2020

Abreviations : SCN : Staphylocoque à Coagulase Négative, CMI : Concentration Minimale Inhibitrice IV : Intra veineuse.

<http://www.sante.dz/aam/>

Tableau XXXV : Valeurs critiques des diamètres des zones d'inhibition et des CMI pour les *Enterococcus* spp.

Table de lecture 6* : Valeurs critiques des diamètres des zones d'inhibition et des CMI pour *Enterococcus* spp.

Antibiotiques testés	Charge des disques	Diamètres critiques (mm)			CMI critiques (µg/ml)			Commentaires
		R	I	S	R	I	S	
Ampicilline	10µg	≤ 16	—	≥ 17	≥ 16	—	≤ 8	Interprétation valable pour amoxicilline. Les résultats des tests de sensibilité à l'ampicilline doivent être utilisés pour prédire l'activité de l'amoxicilline.
Tétracycline	30µg	≤ 14	15 – 18	≥ 19	≥ 16	8	≤ 4	Interprétation valable pour la doxycycline.
Vancomycine	30µg	≤ 14	15 – 16	≥ 17	≥ 32	8-16	≤ 4	Rechercher la sensibilité diminuée aux glycopeptides. Confirmer par la CMI de vancomycine et de teicoplanine en cas de réponse R ou I ou de screening test positif. Pour les souches dont la CMI est entre 8 et 16µg/ml, il faut confirmer l'identification biochimique.
Teicoplanine	30µg	≤ 10	11 – 13	≥ 14	≥ 32	16	≤ 8	
Gentamicine de haut niveau	120µg	≤ 6	7 – 9	≥ 10	> 500	—	≤ 500	CMI en milieu solide (BHI agar)
Streptomycine de haut niveau	300µg	≤ 6	7 – 9	≥ 10	> 1000	—	≤ 1000	CMI en milieu liquide (BHI bouillon)
					> 2000	—	≤ 2000	CMI en milieu solide (BHI agar)
Ciprofloxacine	5µg	≤ 15	16 – 20	≥ 21	≥ 4	2	≤ 1	
Lévofloxacine	5µg	≤ 13	14 – 16	≥ 17	≥ 8	4	≤ 2	
Erythromycine	15µg	≤ 13	14 – 22	≥ 23	≥ 8	1-4	≤ 0,5	
Furanes	300µg	≤ 14	15 – 16	≥ 17	≥ 128	64	≤ 32	
Rifampicine	5µg	≤ 16	17 – 19	≥ 20	≥ 4	2	≤ 1	
Fostomycine	200µg	≤ 12	13 – 15	≥ 16	≥ 256	128	≤ 64	Recommandé pour les souches d' <i>E. faecalis</i> isolées du tractus urinaire.
Quinupristine-dalfopristine	15µg	≤ 15	16 – 18	≥ 19	≥ 4	2	≤ 1	A reporter pour les souches d' <i>E. faecium</i> vancomycine résistant. Interprétation valable pour la pristinamycine.
Chloramphénicol	30µg	≤ 12	13 – 17	≥ 18	≥ 32	16	≤ 8	Interprétation non valable pour les souches urinaires. Interprétation valable pour thiamphénicol.
Tigécycline**	CMI	—	—	—	> 0,25	—	≤ 0,25	Reponse en cas de multirésistance. Des CMI supérieures à la concentration critique de sensibilité sont très rares. L'identification et le test de sensibilité doivent être répétés. En cas de confirmation, la souche devra être envoyée à un centre de référence et catégorisée «résistante».

* Tableau extrait du Document M100, 30th ed., 2020. Performance standards for antimicrobial susceptibility testing.

** Extraits des recommandations de l'EUCAST 2020.

Abréviations : CMI : Concentration Minimale Inhibitrice. BHI : Brain-Heart Infusion.