الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

N° Réf : ……

Université El Moudjahid Abdelhafid BOUSSOUF- Mila

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences Biologiques et Agricoles

Mémoire préparé en vue de l'obtention du diplôme de

Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Microbiologie Appliquée

Thème :

Identification des protozoaires et des métazoaires d'une boue activée : Cas de la station d'épuration des eaux usées de Zeghaia Oued Endja

Présenté par :

- **Merzouk Wakar**
- **Taloub Nada**

Devant le jury :

BOUDRAA Wahiba	**MCA au Université de Mila**	**Présidente**
KHENNAOUI Badis	**MCA au Université de Mila**	**Examinateur**
HARRIECHE Ouahiba	**MAA au Université de Mila**	**Promotrice**

Année Universitaire : 2025/2026

Remerciements

Avant tout, nous remercions Allah le Tout-Puissant de nous avoir accordé la santé, la force et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre promotrice, **Mme. Harrieche Ouahiba**, pour son encadrement, sa disponibilité, ses conseils avisés et son soutien précieux tout au long de l'élaboration de ce mémoire.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements aux membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'évaluer ce travail.

Nous adressons notre profonde gratitude à **Mme. BOUDRAA Wahiba** la présidente du jury pour avoir accepté de présider cette soutenance, ainsi qu'à **M. KHENNAOUI Badis** l'examinateur pour l'intérêt porté à ce mémoire et pour ses remarques pertinentes et constructives.

Nos remerciements s'adressent aussi à l'ensemble des enseignants du département des Sciences Biologiques et Agricoles pour leur contribution à notre formation.

Nous exprimons notre sincère gratitude à **M. Touhami Ayoub** pour son accueil, sa disponibilité, son aide précieuse et ses réponses à toutes nos interrogations durant notre stage au sein de la station ont grandement facilité la réalisation de ce travail.

Enfin, nous remercions nos familles, nos amis ainsi que toutes les personnes qui nous ont soutenus et encouragés de près ou de loin.

À tous, nous adressons nos plus sincères remerciements.

Dédicace

Au nom d'Allah, le Clément, le Miséricordieux.

Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents, pour leur amour, leurs sacrifices, leur soutien inconditionnel et leurs encouragements tout au long de mon parcours.

À ma famille, qui a toujours été une source de motivation et de réconfort.

À ma chère amie Wakar, ma partenaire de travail et de parcours universitaire, en témoignage de mon affection et de ma reconnaissance. Merci pour tous les beaux moments que nous avons partagés ensemble, pour ton soutien dans les périodes de difficulté et de stress, pour les éclats de rire, la bonne humeur et les souvenirs inoubliables qui ont illuminé ces trois années d'études. Que notre amitié demeure aussi sincère et précieuse au fil du temps.

À tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Nada

Dédicace

Avant tout, je remercie Dieu Tout-Puissant pour Ses innombrables bienfaits, pour la force, la patience et le courage qu'il m'a accordés tout au long de ce parcours. Sans Sa volonté et Son aide, ce travail n'aurait pas pu être accompli.

À mes chers parents, je dédie ce travail avec toute ma gratitude et mon amour. Merci pour vos sacrifices, votre soutien inconditionnel, vos encouragements constants et vos prières qui m'ont accompagnée tout au long de ce parcours. Que Dieu vous accorde santé, bonheur et une longue vie.

À mes chers frères pour leur appui et leur encouragement.

À toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire.

À mon binôme Nada qui a partagé avec moi les plus beaux moments et les plus précieux souvenirs. Merci pour ton soutien, ta présence et ton encouragement tout au long de ce parcours.

À mes chères amies, pour leur soutien indéfectible, leur présence constante et leurs encouragements tout au long de ce parcours. Puisse notre amitié durer toujours.

À mes chers enseignants que ce soit du primaire, du moyen, du Secondaire et

De l'enseignement supérieur, en particulier Madame Harrieche Ouahiba, la personne qui m'a consacré temps, patience et conseils surtout dans les moments difficiles.

Et à tous ceux que j'estime beaucoup.

Wakar

Résumé

Ce travail constitue une étude approfondie visant à identifier les protozoaires et métazoaires de la boue activée de la station d'épuration des eaux usées de Zeghaia Oued Endja Wilaya de Mila. Il vise également à évaluer l'efficacité du traitement de la station. L'étude a été réalisée à l'aide d'analyses physico-chimiques et d'observations microscopiques effectuées en mois de mars, avril et mai. Ces analyses ont permis d'identifier plusieurs groupes de protozoaires, dont 5 espèces de flagellés, 16 espèces de ciliés et 5 espèces de sarcodines ainsi que 2 espèces de métazoaires : des rotifères et des oligochètes. Les résultats du dénombrement ont révélé la dominance de certaines espèces, notamment *Euglypha, Trachelophyllum pusillum, Coleps hirtus, et Aspidisca costata*. Une augmentation significative des bactéries filamenteuses a également été observée, indiquant des difficultés de décantation des boues. Les résultats ont par ailleurs démontré une efficacité d'élimination de la charge organique acceptable, supérieure à 90 %. Malgré quelques fluctuations enregistrées dans les analyses physico-chimiques, les résultats obtenus ont montré que l'eau traitée rejetée par la station est conforme aux normes de rejet.

Mots-clés : Station d'épuration des eaux usées de Zeghaia Oued Endja, boues activées, énumération, protozoaires, métazoaires, analyses physico-chimiques.

Abstract

This study is an in-depth investigation aimed at identifying the protozoa and metazoans present in the activated sludge at the Zeghaia Oued Endja wastewater treatment plant in the Wilaya of Mila. It also aims to assess the plant's treatment efficiency. The study was carried out using physico-chemical analyses and microscopic observations conducted in March, April and May. These analyses identified several groups of protozoa, including 5 species of flagellates, 16 species of ciliates and 5 species of sarcodines, as well as 2 species of metazoan: rotifers and oligochaetes. The results of the count revealed the dominance of certain species, notably *Euglypha*, *Trachelophyllum pusillum*, *Coleps hirtus*, and *Aspidisca costata*. A significant increase in filamentous bacteria was also observed, indicating difficulties with sludge settling. The results also demonstrated an acceptable organic load removal efficiency of over 90%. Despite some fluctuations recorded in the physico-chemical analyses, the results obtained showed that the treated effluent discharged by the plant complies with discharge standards.

Keywords : Zeghaia Oued Endja wastewater treatment plant, activated sludge, enumeration, Protozoa, metazoa, physicochemical analyses.

ملخص

يمثل هذا العمل دراسة معمقة تهدف إلى تحديد الكائنات الأولية و الميتازوا الموجودة في الحمأة النشطة لمحطة معالجة مياه الصرف الصحي في زغاية وادي النجاء ولاية ميلة. كما يهدف إلى تقييم كفاءة المعالجة في المحطة. أجريت الدراسة باستخدام تحليلات فيزيائية وكيميائية و ملاحظات مجهرية أجريت في شهور مارس وأبريل ومايو. سمحت هذه التحليلات بتحديد عدة مجموعات من الكائنات الأولية، منها 5 أنواع من الكائنات السوطية، و16 نوعًا من الكائنات الهدبية، و5 أنواع من الساركوديناات، بالإضافة إلى نوعين من الميتازوا : الروتيفيرا والاوليغوشات. وكشفت نتائج التعداد عن هيمنة بعض الأنواع، ولا سيما اوغليفا، ثراكيلوفيلوم بوسيلوم، كوليبس هيرتيس و أسبيديسكا كوستاتا كما لوحظت زيادة ملحوظة في البكتيريا الخيطية، مما يشير إلى صعوبات في ترسيب الحمأة. كما أظهرت النتائج كفاءة مقبولة في إزالة الحمل العضوي، تزيد عن 90٪. وعلى الرغم من بعض التقلبات المسجلة في التحاليل الفيزيائية والكيميائية، أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن المياه المعالجة التي تصرفها المحطة تتوافق مع معايير التصريف.

الكلمات المفتاحية: محطة معالجة المياه المستعملة زغاية وادي النجاء، الحمأة المنشطة، التعداد، الأوليات، الميتازوا، التحاليل الفيزيائية-الكيميائية.

Table des matières

Remerciements

Dédicace

Résumé

Abstract

ملخص

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction 2

Partie I : Partie bibliographique

Chapitre I : Généralités sur les eaux usées

1. Définition des eaux usées 6

2. Origine des eaux usées 6

2.1. Eaux usées domestiques 6

2.2. Eaux usées industrielles 6

2.3. Eaux usées pluviales 7

2.4. Eaux usées agricoles 7

3. Origine et nature des polluants 8

3.1. Polluants organiques 8

3.2. Polluants minéraux 8

3.3. Polluants microbiologiques 8

4. Caractéristiques des eaux usées 9

4.1. Caractéristiques physiques 9

4.1.1. Température 9

4.1.2. Potentiel d'hydrogène (pH) 9

4.1.3. Turbidité 9

4.1.4. Conductivité 10

4.1.5. Matière en suspension 10
4.1.6. Oxygène dissous 10
4.1.7. Couleur 11
4.1.8. Odeur 11
4.1.9. Débit 11
4.2. Caractéristiques chimiques 11
4.2.1. Demande chimique en oxygène 11
4.2.2. Demande biochimique en oxygène 11
4.2.3. Carbone organique total 12
4.2.4. Azote 12
4.2.5. Phosphore 12
4.3. Caractéristiques biologiques 12
4.3.1. Virus 12
4.3.2. Bactéries 13
4.3.3. Champignons 13
4.3.4. Protozoaires 13
4.3.5. Helminthes 13
5. Impacts environnementaux et sanitaires des eaux usées 14
5.1. Pollution des milieux aquatiques 14
5.2. Eutrophisation 14
5.3. Risques pour la santé publique 14
6. Les normes de rejet des eaux usées 15

Chapitre II : Épuration des eaux usées

1. Notion de l'épuration 18
1.1. Définition de l'épuration 18
1.2. Objectif de l'épuration 18
1.3. Principe de l'épuration 18
2. Filières de traitement des eaux usées 18
2.1. Prétraitement 18

2.1.1. Dégrillage 18
2.1.2. Dessablage 19
2.1.3. Déshuilage- dégraissage 19
2.2. Traitement primaire 19
2.2.1. Décantation 19
2.2.2. Flottation 19
2.2.3. Floculation 20
2.2.4. Coagulation 20
2.3. Traitement secondaire (Traitement biologique) 20
2.3.1. Procédés à cultures libres 20
2.3.1.1. Lagunage 20
2.3.1.2. Boues activées 21
2.3.2. Procédés à cultures fixées 22
2.3.2.1. Lits bactériens 22
2.3.2.2. Biofiltres 22
2.3.2.3. Disques biologiques 23
2.4. Traitement tertiaire 23
2.4.1. Élimination de l'azote 24
2.4.1.1. Nitrification 24
2.4.1.2. Dénitrification 25
2.4.1.3. Assimilation 25
2.4.2. Élimination du phosphore 26
2.4.3. Élimination des odeurs 26
2.4.4. Désinfection 26
2.4.4.1. Méthodes chimiques 27
2.4.4.2. Méthodes physiques 27
3. Traitement biologique des eaux usées par boue activée 27
3.1. Principe du traitement par boue activée 27
3.2. L'effet des facteurs physico-chimiques dans la boue activée 28

3.2.1. L'effet de température....28
3.2.2. L'effet d'aération....28
3.2.3. L'effet du pH....29
3.3. Étapes de procédé de la boue activée....29
3.3.1. Bassin d'aération....29
3.3.2. Zones biologiques....30
3.3.3. Sédimentation (sédimentation secondaire)....31
3.3.4. Recyclage et lavage des boues....31
3.4. Paramètres de fonctionnement....31
3.4.1. Temps de séjour....31
3.4.2. Âge de boue....32
3.4.3. Le rapport F/M....32
3.5. Avantages et limites du procédé de traitement par boues activées....32

Chapitre III : Composition microbiologique de la boue activée

1. Définition de la boue activée....35
2. Types des boues....35
2.1. Boues primaires....35
2.2. Boues Secondaires (Boues activées)....35
2.3. Boues physico-chimiques....35
2.4. Boues mixtes....36
3. Notion de la biomasse microbienne....36
3.1. Définition de la biomasse microbienne....36
3.2. Rôle de la biomasse microbienne dans le procédé de l'épuration....36
3.3. Caractéristiques de la biomasse microbienne....36
4. Composition microbiologique de la boue activée....37
4.1. Les virus....37
4.1.1. Origine des virus dans les eaux usées....37
4.1.2. Les principaux virus retrouvés dans la boue activée....37
4.2. Les bactéries....38

4.2.1. Les principaux bactéries retrouvées dans la boue activée 38
4.3. Les algues 39
4.3.1. Rôle des algues dans le traitement des eaux usées 39
4.4. Les champignons 40
4.4.1. Présence de champignons dans la boue activée 40
4.5. Embranchement des protozoaires 40
4.5.1. Sous-embranchement des flagellés (Mastigophorea) 41
4.5.2. Sous-embranchement des sarcodines 41
4.5.3. Sous-embranchement des ciliés 43
4.6. Embranchement des métazoaires 46
4.6.1. Sous-embranchement des rotifères 46
4.6.2. Sous-embranchement des nématodes 47
4.6.3. Sous-embranchement des gastrotriches 47
4.6.4. Sous-embranchement des oligochètes 48
4.6.5. Sous-embranchements des tardigrades et des acariens 48
5. Importance de l'identification des protozoaires et des métazoaires présents dans la boue activée 49

Partie II : Partie expérimentale

Chapitre IV : Matériel et Méthodes

1. Présentation de la STEP de Zeghaia Oued Endja 52
1.1. Localisation géographique de la STEP 52
1.2. Données techniques de la STEP 53
1.3. Rôle principal de la STEP 54
1.4. Équipements de la STEP 54
1.5. Les étapes de traitement de la STEP 55
1.5.1. Prétraitement 55
1.5.1.1. Dégrillage fin 55
1.5.1.2. Dessablage –déshuilage 56
1.5.2. Traitement biologique 57
1.5.2.1. La technique SBR (Sequencing Batch Reactor) 58

1.5.3. Clarification 59
1.5.4. Traitement des boues 59
1.5.4.1. Pré-déshydratation - déshydratation des boues secondaires 59
1.5.4.2. Lit de séchage de secours 59
1.5.4.3. Séchage solaire 60
1.5.4.4. Stockage des boues 60
2. Les analyses physico-chimiques de l'eau 61
2.1. Les analyses physiques réalisées au laboratoire de la STEP 61
2.1.1. Température (T°C), Potentiel d'Hydrogène (pH), Conductivité (CE) et Oxygène dissous 61
2.1.2. Dosage des matières en suspension (MES) Par filtration 62
2.2. Les analyses chimiques réalisés au laboratoire de la STEP 64
2.2.1. Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO) 64
2.2.2. Détermination de la demande biochimique en oxygène pendant 5 jours (DBO5) 65
2.2.3. Calcul de rapport de biodégradabilité (DCO /DBO5) 67
2.2.4. Détermination des nitrates (NO_3^-) 67
2.2.5. Détermination des nitrites (NO_2^-) 68
2.2.6. Détermination de l'azote ammoniacal (NH_4^+) 69
2.2.7. Taux d'abattement % (Efficacité de l'élimination %) 69
3. Identification des protozoaires et des métazoaires présents dans la boue activée 70
3.1. Prélèvement 70
3.2. Observation macroscopique des boues activées 70
3.3. Observation microscopique des boues activées 70
3.3.1. Observation à l'état frais 71
3.3.2. Observation après coloration 71
3.3.2.1. Coloration au lugol 71
3.3.2.2. Coloration avec le bleu de méthylène 72
3.3.2.3. Coloration avec le vert de méthyle 72
3.3.2.4. Coloration avec le rouge neutre 72
3.4. Clé d'identification des protozoaires et des métazoaires 72

3.5. Comptage des protozoaires et des métazoaires 74
3.5.1. Cellule de Thoma 74
3.5.2. Méthode de comptage 74
3.5.3. Loi de Comptage 75

Chapitre V : Résultats et Discussion

1. Résultats des analyses physico-chimiques 77
1.1. Analyses physiques de l'eau 77
1.1.1. Température (T°c) 77
1.1.2. Potentiel d'Hydrogène (pH) 78
1.1.3. Conductivité (CE) 79
1.1.4. Oxygène dissous 80
1.1.5. Matières en suspension (MES) 81
1.2. Analyses chimiques de l'eau 83
1.2.1. Demande chimique en oxygène (DCO) 83
1.2.2. Demande biochimique en oxygène pendant 5 jours (DBO5) 85
1.2.3. Rapport de biodégradabilité (DCO/DBO5) 86
1.2.4. Nitrates (NO_3^-) 87
1.2.5. Nitrites (NO_2^-) 89
1.2.6. Azote ammoniacal (NH_4^+) 90
2. Résultats de l'observation macroscopique et microscopique des boues activées 92
2.1. Observation macroscopique 92
2.1.1. Couleur 92
2.1.2. Odeur 93
2.1.3. Qualité de surnageant et quantité de boue 93
2.2. Observation microscopique 93
2.3. Identification des protozoaires et des métazoaires 95
2.3.1. Les protozoaires 95
2.3.1.1. Les flagellés 95
2.3.1.2. Les sarcodines 97

2.3.1.3. Les ciliés....98
2.3.2. Les métazoaires....106
2.3.2.1. Les rotifères....106
2.3.2.2. Les oligochètes....106
2.4. Comptage des protozoaires et des métazoaires....107
2.4.1. Les résultats de 4 mars....114
2.4.2. Les résultats de 9 mars....114
2.4.3. Les résultats de 16 mars....115
2.4.4. Les résultats de 25 mars....116
2.4.5. Les résultats de 5 avril....116
2.4.6. Les résultats de 12 avril....117
2.4.7. Les résultats de 23 avril....118
2.4.8. Les résultats de 30 avril....119
2.4.9. Les résultats de 5 mai....120
2.4.10. Les résultats de 10 mai....121
Conclusion....124
Références bibliographiques....126
Références sitographiques....135
Annexes....138

Liste des figures

Figure 1 : Eau usée domestique 6
Figure 2 : Eau usée industrielle 7
Figure 3 : Eau usée pluviale 7
Figure 4 : Eau usée agricole 8
Figure 5 : Le procédé de lagunage 21
Figure 6 : Le procédé d'épuration par boue activée 22
Figure 7 : Un lit bactérien et leur composants 22
Figure 8 : La structure d'un biofiltre 23
Figure 9 : Traitement par le procédé des disques biologiques 23
Figure 10 : Bassin d'aération 30
Figure 11 : Bassin de sédimentation secondaire 31
Figure 12 : *Nitromonas* 38
Figure 13 : *Nitrobacter* 38
Figure 14 : *Escherichia coli* 39
Figure 15 : *Chlorella vulgaris* 39
Figure 16 : Hyphes fongiques 40
Figure 17 : Petit flagellé *Monas globosa* 41
Figure 18 : Le genre *Actinophrys* 42
Figure 19 : *Grande amibe* 42
Figure 20 : Thécamébiens (*Arcella)* 43
Figure 21 : *Colpidium* 44
Figure 22 : Cilié péritriche *Vaginicola crystallina* 44
Figure 23 : Le genre *Stentor* 45
Figure 24 : Le genre *Euplotes* 45
Figure 25 : Le genre *Podophrya* 46
Figure 26 : *Rotifères Digononta* 47
Figure 27 : Nématode 47
Figure 28 : Gastrotriches 48
Figure 29 : *Oligochètes Aelosoma* 48
Figure 30 : Tardigrade 49
Figure 31 : Localisation de la STEP de Zeghaia Oued Endja 53
Figure 32 : Représentation de la STEP et ses équipements **.** 55
Figure 33 : Dégrilleurs fins **.** 56
Figure 34 : Installation de dessableur déshuileur **.** 56
Figure 35 : Les bassins biologiques 57

Figure 36 : La pré-déshydratation et déshydratation des boues **.** 59
Figure 37 : Lit de séchage 60
Figure 38 : La serre de séchage des boues déshydratées 60
Figure 39 : Stockage des boues séchées **.** 61
Figure 40 : Oxymètre 62
Figure 41 : pH-mètre à multiple mesures 62
Figure 42 : Un dessiccateur 63
Figure 43 : Ensemble de filtration 63
Figure 44 : Un digesteur de DCO 65
Figure 45 : Incubateur de la DBO5 contient les flacons des échantillons avec système de mesure OxiTop 67
Figure 46 : Spectrophotomètre UV-visible 69
Figure 47 : Prélèvement de la boue activée dans la STEP **.** 70
Figure 48 : Microscope optique de la STEP 71
Figure 49 : Cellule de Thoma 74
Figure 50 : Préparation de la cellule de Thoma 75
Figure 51 : Variations de la température des eaux usées de la STEP de Zeghaia Oued Endja. 78
Figure 52 : Variations du pH des eaux usées de la STEP de Zeghaia Oued Endja. 79
Figure 53 : Variations de la conductivité des eaux usées de la STEP de Zeghaia Oued Endja**.** 80
Figure 54 : Variations de l'oxygène dissous des eaux usées de la STEP de Zeghaia Oued Endja**.** 81
Figure 55 : Variations des MES des eaux usées de la STEP de Zeghaia Oued Endja. 82
Figure 56 : Taux d'abattement des MES dans la STEP de Zeghaia Oued Endja 83
Figure 57 : Variations de DCO des eaux usées de la STEP de Zeghaia Oued Endja 84
Figure 58 : Taux d'abattement de DCO dans la STEP de Zeghaia Oued Endja 84
Figure 59 : Variations de DBO5 des eaux usées de la STEP de Zeghaia Oued Endja. 85
Figure 60 : Taux d'abattement de DBO5 dans la STEP de Zeghaia Oued Endja**.** 86
Figure 61 : Variations de rapport de la biodégradabilité dans la STEP de Zeghaia Oued Endja. 87
Figure 62 : Variations de nitrates dans la STEP de Zeghaia Oued Endja**.** 88
Figure 63 : Taux d'abattement de nitrates dans la STEP de Zeghaia Oued Endja**.** 88
Figure 64 : Variations des nitrites dans la STEP de Zeghaia Oued Endja**.** 89
Figure 65 : Taux d'abattement de nitrites dans la STEP de Zeghaia Oued Endja**.** 90
Figure 66 : Variations de l'azote ammoniacal dans la STEP de Zeghaia Oued Endja**.** 91
Figure 67 : Taux d'abattement de l'azote ammoniacal dans la STEP de Zeghaia Oued Endja**.** 91
Figure 68 : Apparence de la mousse dans le bassin d'aération de la STEP de Zeghaia Oued Endja 92
Figure 69 : Échantillon de la boue activée de couleur marron clair 92
Figure 70 : Échantillon de la boue avant et après 10 minutes de décantation **.** 93
Figure 71 : Observation microscopique à l'état frais (400X) 94

Figure 72 : Observation microscopique avec le lugol (400X) 94
Figure 73 : Observation microscopique avec le bleu de méthylène (400X) 94
Figure 74 : Observation microscopique avec le vert de méthyle (400X) 94
Figure 75 : Observation microscopique avec le rouge neutre (400X) 94
Figure 76 : *Euglena gracilis* (400X) 95
Figure 77 : Le genre *Volvox* (400X) 96
Figure 78 : *Oicomonas socialis* (400X) 96
Figure 79 : *Monas globosa* (400X) 96
Figure 80 : Le genre *Bodo* (400X) 97
Figure 81 : *Clamydophrys stercorya* (400X) 97
Figure 82 : Le genre *Arcella* (400X) 97
Figure 83 : Le genre *Euglypha* (400X) 98
Figure 84 : *Mayorella cultura* (400X) 98
Figure 85 : *Hartamanella vermiformis* (400X) 98
Figure 86 : *Trachelophyllum pusillum* (400X) 99
Figure 87 : *Coleps hirtus* (400X) 99
Figure 88 : Le genre *Litonotus* (400X) 100
Figure 89 : Le genre *Chilodonella* (400X) 100
Figure 90 : Le genre *Paramecium* (400X) 101
Figure 91 : Le genre *Colpidium* (400X) 101
Figure 92 : *Holophrya* (400X) 101
Figure 93 : Le genre *Vaginicola* 102
Figure 94 : *Epistylis plicatilis* (400X) 102
Figure 95 : *Vorticella microstoma* (400X) 103
Figure 96 : *Tête de vorticelle* (400X) 103
Figure 97 : Le genre *Stentor* (400X) 104
Figure 98 : *Aspidisca costata* (400X) 104
Figure 99 : Le genre *Euplotes* (400X) 105
Figure 100 : *Acineta foetida* (400X) 105
Figure 101 : Le genre *Podophrya* (400X) 106
Figure 102 : *Rotifère Digononta* (400X) 106
Figure 103 : Le genre *Aelosoma* (400X) 107
Figure 104 : Diagramme des espèces présentes dans la boue activée dans le 4 mars 2026 114
Figure 105 : Diagramme des espèces présentes dans la boue activée le 9 mars 2026.....115
Figure 106 : Diagramme des espèces présentes dans la boue activée le 16 mars 2026.....115
Figure 107 : Diagramme des espèces présentes dans la boue activée le 25 mars 2026.....116
Figure 108 : Diagramme des espèces présentes dans la boue activée le 5 avril 2026 117

Figure 109 : Diagramme des espèces présentes dans la boue activée le 12 avril 2026 118
Figure 110 : Diagramme des espèces présentes dans la boue activée le 23 avril 2026 119
Figure 111 : Diagramme des espèces présentes dans la boue activée le 30 avril 2026 120
Figure 112 : Diagramme des espèces présentes dans la boue activée le 5 mai 2026 121
Figure 113 : Diagramme des espèces présentes dans la boue activée le 10 mai 2026. 122

Liste des tableaux

Tableau 1 : Valeur limites de certains paramètres de rejets d'effluents liquides industriels. (Décret exécutif n°06-141 du 19 avril 2006) 15
Tableau 2 : Données techniques de la STEP de Zeghaia Oued Endja 53
Tableau 3 : Clé d'identification des protozoaires et des métazoaires 72
Tableau 4 : Résultats d'énumération des flagellés 108
Tableau 5 : Résultats d'énumération des sarcodines 109
Tableau 6 : Résultats d'énumération des ciliés holotriches 110
Tableau 7 : Résultats d'énumération des ciliés péritriches 111
Tableau 8 : Résultats d'énumération des Ciliés spirotriches et ciliés suctoriens 112
Tableau 9 : Résultats d'énumération des métazoaires 113

Liste des abréviations

% : Pourcent

° : Degré

°C : Degré Celsius

µm : Micromètre

µS/cm : Microsiemens par centimètre (unité de conductivité).

AFNOR : Association Française de Normalisation.

CE : Conductivité électrique.

CEAEQ : Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec.

CO_2 : Dioxyde de carbone

COT : Carbone organique total.

DBO5 : Demande biochimique en oxygène pendant 5 jours

DCO : Demande chimique en oxygène

EH : Equivalent habitant

EPS : Substances polymériques extracellulaires.

h : Heure

JORADP : Journal officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire.

L : Litre

m/s : Mètre par seconde.

m^2 : Mètre carré

m^3 : Mètre cube

MES : Matières en suspension

mg $O_2 \cdot L^{-1}$: Milligrammes d'oxygène par litre**.**

mg/l : Milligramme par litre

ml : Millilitre

MVS : Matières volatils sèches

N : Azote

N_2O : Protoxyde d'azote.

NH_4^+ : Azote ammoniacal

NO_2^- : Nitrite

NO_3^- : Nitrate

O_2 : Oxygène

OMS : Organisation Mondiale de Santé.

ONA : Office national de l'assainissement.

pH : Potentiel d'hydrogène

PO_4^{3-} : Ortho phosphates

SBR : Sequencing Batch Reactor.

SIAAP : Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne.

STEP : Station d'épuration des eaux usées

T : Température.

UNEP : Programme des Nations Unies pour l'environnement.

UNESCO : United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

Introduction

Introduction

L’eau est une ressource importante pour la vie de l'être humain. Elle est indispensable pour les besoins domestiques, activités agricoles et économiques, ainsi au maintien de l’équilibre de l'environnement. Malgré qu'elle est importante, sa répartition est inégale à travers le monde. Elle représente un patrimoine universel qui doit être préservé **(Benfreha Benyelles, 2022).**

La raréfaction des ressources hydriques est devenue un problème majeur, selon L’UNESCO 2021, près de 3, 6 milliards de personnes vivent dans des régions soumises à un stress hydrique au moins un mois par an, et ce chiffre pourrait atteindre 5, 7 milliards à l’horizon 2050 **(Benfreha Benyelles, 2022).**

L'Algérie, comme les autres pays connaît une diminution progressive des ressources hydriques. Avec moins de 1 000 m^3 disponibles par habitant et par an, elle se situe en dessous du seuil de pénurie d'eau défini par la Banque Mondiale **(Benfreha Benyelles, 2022).**

Les projections indiquent que d'ici 2030, environ 2 milliards m^3 d'eaux usées traitées pourraient servir à irriguer près de 200 000 hectares de terres agricoles. Ce volume est 4 fois supérieur à la quantité d'eau de barrage utilisée pour l'agriculture, estimée à environ 550 millions m^3 par an. Le traitement des eaux usées constitue donc un enjeu pour la gestion durable des ressources hydriques et la protection de l'environnement **(ONA, 2015).**

Parmi les différentes stratégies de traitement des eaux usées, les procédés biologiques constituent une approche performante et durable. En Algérie, la majorité des stations d’épuration des eaux usées repose sur le procédé des boues activées, reconnu pour son efficacité dans l’élimination de la charge organique biodégradable. Ce procédé repose sur le maintien d’une biomasse microbienne en suspension dans un milieu aérobique, assurant la dégradation et la minéralisation des composés organiques présents dans l’effluent brut **(Metcalf et Eddy, 2014)**.

Les boues activées représentent un système biologique complexe, caractérisé par une grande diversité microbienne. Bien que les bactéries hétérotrophes soient les principaux acteurs de la dégradation de la matière organique, la biomasse inclut aussi une microfaune variée, composée de protozoaires (ciliés, flagellés, amibes) et de métazoaires (rotifères, nématodes, oligochètes). Ces organismes jouent un rôle essentiel dans l'équilibre biologique du processus et dans la structuration des flocs **(Bitton, 2011)**.

Les protozoaires interviennent principalement dans la régulation des populations bactériennes par prédation, contribuant ainsi à une meilleure clarification de l'effluent et à la stabilité des flocs biologiques. À l'inverse, les métazoaires sont associés à des boues plus anciennes et bien stabilisées, reflètent des conditions de fonctionnement optimales dans le bassin d'aération. La composition et l'abondance de cette microfaune dépendent directement des paramètres opérationnels, tels que la charge organique appliquée, l'âge des boues et la concentration en oxygène dissous **(Curds et Cockburn, 1970)**.

En raison de leur sensibilité aux variations des conditions environnementales et opérationnelles, les protozoaires et métazoaires sont considérés comme des bio-indicateurs fiables pour évaluer le fonctionnement des procédés à boues activées. Plusieurs études ont montré que la dominance de certains groupes, tels que les ciliés fixés et les rotifères, est souvent corrélée à une performance épuratoire efficace, tandis que la prédominance des flagellés libres ou des amibes peut indiquer un déséquilibre du système **(Madoni, 1994).**

Dans ce cadre, l'étude porte sur l'identification des protozoaires et des métazoaires présents dans la boue activée de la station d'épuration des eaux usées Zeghaia Oued Endja Wilaya de Mila. Cette approche vise à évaluer le procédé de traitement à travers l'analyse de la microfaune comme bio-indicateur de l'état de fonctionnement et la performance de traitement et les analyses physico-chimiques des eaux usées à l'entrée et à la sortie de la STEP.

Ce mémoire est structuré en cinq chapitres interdépendants, chacun visant à approfondir un aspect spécifique de l'étude :

➢Le premier chapitre présente des généralités sur les eaux usées ainsi que les sources de pollution.

➢Le deuxième chapitre montre l'épuration des eaux usées et les procédés de traitement y compris le traitement biologique par boue activée.

➢Le troisième chapitre détaille la composition microbiologique de la boue activée.

➢Le quatrième chapitre donne une présentation de la STEP de Zeghaia Oued Endja Wilaya de Mila. Ainsi que les matériaux et les méthodes expérimentales utilisées dans cette étude.

➢Le cinquième chapitre est consacré aux résultats obtenus et leurs interprétations.

Enfin, on clôture le mémoire par une conclusion finale accompagnée de recommandations.

Partie I :

Partie bibliographique

Chapitre I :

Généralités sur les eaux usées

1. Définition des eaux usées

Les eaux usées sont des eaux chargées de polluants solubles ou insolubles, provenant de l'activité humaine. Une eau usée est généralement un mélange de matières polluantes répondant à ces catégories dispersées ou dissoutes dans l'eau qui a servi aux besoins domestiques ou industriels. Donc sous la terminologie d'eau résiduaire, on groupe des eaux d'origines très diverses qui ont perdu leur pureté : c'est-à-dire leurs propriétés naturelles par l'effet des polluants après avoir été utilisées dans des activités humaines (domestiques, industrielles ou agricoles) **(Rejsek, 2002).**

2. Origine des eaux usées

2.1. Eaux usées domestiques

Ces polluants proviennent de divers usages domestiques de l'eau. Cette eau peut provenir de la cuisine et de la salle de bain **(Figure 1),** qui contiennent des détergents, des solvants et de la graisse, ou des eaux usées des toilettes, qui présentent un pourcentage élevé de matières organiques, de composés, de micro-organismes d'origine fécale et d'azote **(Bali, 2024)**.



Figure 1 : Eau usée domestique **(Site 1)**

2.2. Eaux usées industrielles

Les eaux usées industrielles sont les eaux utilisées dans diverses activités industrielles, telles que le transport, la production, le refroidissement et le nettoyage **(Figure 2)**. Une fois leur utilisation terminée, elles sont rejetées dans l'environnement, emportant avec elles divers polluants **(Boeglin et Roubaty, 2007).**



Figure 2 : Eau usée industrielle **(Site 2)**

2.3. Eaux usées pluviales

Elles peuvent être à l'origine d'une pollution importante des cours d'eau **(Figure 3)**, en particulier lors des épisodes orageux. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'atmosphère, notamment des rejets industriels, puis, en ruisselant sur les voiries urbaines, elle entraîne des résidus accumulés (les huiles de moteur, les carburants et les métaux lourds).Si le réseau d'assainissement est de type unitaire, les eaux pluviales se mélangent aux eaux usées domestiques **(Bontoux, 1993).**



Figure 3 : Eau usée pluviale **(Site 3)**

2.4. Eaux usées agricoles

Les activités agricoles constituent une source majeure de pollution de l'eau en raison de l'utilisation intensive d'engrais et de pesticides **(Figure 4)**. L'eau issue des terres agricoles, chargée d'engrais azotés et phosphatés, n'est pas entièrement absorbée par le sol et les plantes. Ces substances s'écoulent ensuite dans les rivières et les barrages, ainsi que dans les nappes phréatiques de surface par ruissellement, augmentant ainsi la concentration d'azote et de phosphate et dégradant la qualité de l'eau **(Metahri, 2012)**.



Figure 4 : Eau usée agricole **(Site 4)**

3. Origine et nature des polluants

3.1. Polluants organiques

Les polluants organiques sont des composés chimiques dont la principale source est l'activité humaine, notamment l'utilisation de produits pharmaceutiques, d'adoucissants pour plastiques, de pesticides agricoles et de biocides employés dans divers produits industriels **(Le Roux, 2025).**

3.2. Polluants minéraux

Les polluants minéraux présents dans l'eau proviennent de sources naturelles et anthropiques, et leur présence affecte la qualité des milieux aquatiques. Parmi les sources naturelles, on compte les poussières du Sahara et l'érosion des sols, qui introduisent des éléments tels que l'aluminium, le silicium, le manganèse et le fer. L'activité humaine contribue à la présence de métaux toxiques comme le cuivre, le zinc et le plomb. Ces éléments se déplacent dans l'atmosphère et sur de longues distances avant de se déposer dans les eaux de pluie **(Losno, 1989).**

3.3. Polluants microbiologiques

Les polluants microbiologiques de l'eau sont des micro-organismes pathogènes (bactéries, virus, parasites et protozoaires) principalement d'origine fécale, liés aux activités humaines, animales et terrestres. Ces polluants proviennent des stations d'épuration, des usines et des hôpitaux **(Rochfort et Marsalek, 2004; Selvakumar et Borst, 2006).** ainsi que de sources agricoles (engrais).Leur présence dépend du niveau de pollution, de leur capacité de survie et de propagation**, (Dechesne et *al*., 2006)** et des conditions environnementales telles que l'utilisation des sols et la taille du bassin versant **(James et Joyce, 2004; Ferguson et *al*., 2008; Harmel et *al*., 2010).**

4. Caractéristiques des eaux usées

L'étude des caractéristiques des eaux usées est importante pour évaluer le degré de pollution et déterminer les procédés de traitement les plus adaptés.

4.1. Caractéristiques physiques

Dans le contexte des eaux usées, les paramètres physiques constituent des indicateurs essentiels de l'altération du milieu récepteur résultant de l'introduction des effluents d'origine domestique ou industrielle. Cette altération se traduit par des modifications des propriétés physiques telles que la température, la turbidité, la couleur ou encore les matières en suspension. L'évaluation de ces paramètres est réalisée au niveau des points de rejet, à la sortie des stations d'épuration et dans les milieux récepteurs, afin d'évaluer l'efficacité des procédés de traitement, notamment le système des boues activées, et de mesurer leur impact environnemental **(Rodier et *al*., 2005).**

4.1.1. Température

La température constitue un facteur déterminant dans les milieux aquatiques. Toute augmentation excessive peut entraîner des perturbations significatives de l'équilibre biologique et affecter la survie des organismes aquatiques. Elle exerce également une influence majeure sur les processus biologiques de nitrification et de dénitrification au sein des systèmes d'épuration. La nitrification présente une activité optimale pour des températures comprises entre 28 et 32 °C. En revanche, son efficacité diminue sensiblement lorsque la température se situe entre 12 et 15 °C, et elle devient pratiquement nulle pour des températures inférieures à 5°C **(Rodier et *al*., 2005).**

4.1.2. Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH est un indicateur utilisé pour déterminer le degré d'acidité ou d'alcalinité d'une eau. Il joue un rôle important dans de nombreux équilibres physico-chimiques. De plus, la valeur du pH influence la croissance des microorganismes présents dans l'eau, dont le développement se situe généralement entre 5 et 9 **(Badi, 2013).**

4.1.3. Turbidité

La turbidité correspond au degré d'opacité d'un milieu trouble. Elle traduit la diminution de la transparence d'un liquide provoquée par la présence de particules non dissoutes. Dans les eaux, elle est due aux matières en suspension fines telles que les argiles, les particules de silice ainsi que les microorganismes. Une faible proportion de cette turbidité peut provenir de

substances colloïdales d'origine organique ou minérale. Les unités servant à mesurer la turbidité sont issues de la normalisation ASTM (American Society for Testing Materials), qui considère comme équivalentes les trois unités suivantes : JTU (Jackson Turbidity Unit), FTU (Formazine Turbidity Unit) et NTU (Nephelometric Turbidity Unit) **(Rejsek, 2002).**

4.1.4. Conductivité

La conductivité est la capacité d'une eau à laisser circuler un courant électrique. Elle résulte de la présence d'ions dissous, mobiles sous l'effet d'un champ électrique. Sa valeur dépend à la fois de la nature de ces ions et de leurs concentrations **(Rejsek, 2002).**

La conductivité électrique d'une eau correspond à la conductance mesurée dans une colonne d'eau placée entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 de surface.L'unité de mesure de la conductivité est le siemens par mètre (S/m). 1 S/m = 10^4 µS/cm = 10^3 mS/m **(Rodier et *al.*, 2005).**

4.1.5. Matière en suspension

La pollution particulaire est liée à la présence de particules de taille supérieure à 10 µm maintenues en suspension dans l'eau, que l'on assimile aux matières en suspension (MES). En réalité, ces particules solides ne restent réellement en suspension que dans des conditions moyennes d'écoulement des effluents, correspondant à une vitesse minimale d'environ 0, 5 m/s. Selon leur dimension, on distingue :

- Des matières grossières ou décantables (de diamètre supérieur à 100 µm).
- Des matières en suspension plus fines.
- On peut également inclure une fraction des matières colloïdales, de taille plus petite, situées à la limite entre la phase solide et la phase dissoute (entre 1 et 10^{-2} µm) **(Rejsek, 2002).**

4.1.6. Oxygène dissous

L'oxygène dissous est un élément fondamental de l'eau, car il est indispensable à la survie des organismes aquatiques et joue un rôle déterminant dans les réactions biologiques au sein des écosystèmes aquatiques. La quantité d'oxygène pouvant se dissoudre dans l'eau varie en fonction de plusieurs paramètres; la température, la pression ainsi que la force ionique du milieu.La teneur en oxygène dissous s'exprime en milligrammes d'O_2 par litre (mg $O_2 \cdot L^{-1}$) **(Rejsek, 2002).**

4.1.7. Couleur

La couleur de l'eau peut varier en raison de la présence de minéraux naturels tels que le fer et le magnésium. Elle peut être influencée par la présence de plancton, des herbes aquatiques et de composés organiques.Les eaux usées domestiques présentent généralement une couleur grisâtre, parfois noire. En revanche, les eaux usées industrielles peuvent être incolores ou afficher différentes couleurs en raison du rejet de colorants et de substances industrielles **(Rejsek, 2002).**

4.1.8. Odeur

L'eau d'égout fraîche possède une odeur neutre, généralement non désagréable. En revanche, lorsqu'elle entre en fermentation, elle dégage une odeur nauséabonde **(Rejsek, 2002).**

4.1.9. Débit

L'évaluation du débit permet de quantifier la pollution en utilisant l'équivalent habitant, qui correspond à la quantité moyenne d'eaux résiduelles rejetées par habitant chaque jour **(Rejsek, 2002).**

4.2. Caractéristiques chimiques

4.2.1. Demande chimique en oxygène

La demande chimique en oxygène (DCO) représente la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder les substances présentes dans l'eau dans des conditions opératoires bien déterminées. Elle constitue en réalité une estimation globale des matières oxydables contenues dans l'eau, qu'elles soient d'origine organique ou minérale. La valeur de la DCO dépend des caractéristiques des composés présents, de leurs proportions respectives ainsi que de leur aptitude à être oxydés **(Rodier et *al*., 2005).**

4.2.2. Demande biochimique en oxygène

La demande biochimique en oxygène (DBO) permet d'évaluer la charge d'un milieu en matières biodégradables, ainsi que sa capacité d'auto épuration. Elle aide aussi à déterminer la charge maximale admissible, notamment au stade des traitements primaires dans les stations d'épuration **(Rodier et *al*., 2005).**

La demande biochimique en oxygène mesurée après cinq jours (DBO_5) correspond à la quantité d'oxygène consommée par les microorganismes aérobies présents dans l'échantillon

pour assurer l'oxydation biologique des substances organiques et/ou inorganiques **(Rejsek, 2002).**

4.2.3. Carbone organique total

Le carbone organique total (COT) correspond au carbone contenu dans les composés organiques. Il permet d'évaluer la présence de substances difficilement biodégradables ou non biodégradables. Sa détermination s'effectue à l'aide d'un analyseur de CO_2 infrarouge, après une combustion catalytique de l'échantillon à température élevée **(Dugniolle, 1980).**

4.2.4. Azote

Cet élément est présent dans les eaux usées sous plusieurs formes, regroupées en deux grandes catégories : l'azote réduit et l'azote oxydé.

- L'azote réduit comprend l'azote organique (N) ainsi que l'azote ammoniacal (NH_4^+).
- L'azote oxydé, généralement présent en faibles quantités dans les eaux usées, correspond aux nitrates (NO_3^-) et aux nitrites (NO_2^-), issus de l'oxydation chimique de l'azote réduit.

Dans les eaux résiduaires domestiques, l'azote est majoritairement sous forme ammoniacale **(Satin et Selmi, 2006)**

4.2.5. Phosphore

Dans les eaux usées, le phosphore est principalement présent sous forme d'anions phosphates. On distingue les ortho phosphates (PO_4^{3-}), les phosphates hydrolysables ainsi que les phosphates organiques, qu'ils soient dissous ou associés aux particules. La somme de ces différentes formes constitue le phosphore total **(Cardot et Gilles, 2013).**

4.3. Caractéristiques biologiques

4.3.1. Virus

Les virus sont des agents pathogènes humains présents dans les eaux usées, pouvant atteindre entre 10^3 et 10^7 particules par litre dans les eaux brutes. Leur concentration après traitement dépend du procédé utilisé, de la saison et de la localisation, et les traitements secondaires n'éliminent pas complètement les virus. Les virus entériques les plus fréquents incluent *le virus de l'hépatite A, le norovirus, le rotavirus, les adénovirus, les astrovirus et les entérovirus,* responsables de gastro-entérites, méningites, hépatites et myocardites, et excrétés

en grande quantité dans les selles. Des virus émergents, zoonotiques et même certains virus végétaux peuvent contaminer les eaux usées **(Chahal et *al*., 2016).**

4.3.2. Bactéries

Les bactéries constituent des agents pathogènes présents dans les eaux usées. Bien que la plupart vivent naturellement dans l'intestin humain et soient bénéfiques, certaines espèces sont pathogènes et représentent la majorité des bactéries détectées. Les principales bactéries pathogènes d'origine humaine incluent : *Salmonella*, *Escherichia*, *Shigella*, *Yersinia*, *Klebsiella*, *Leptospira*, *Vibrio cholerae*, *Aeromonas hydrophila*, *Legionella pneumophila*, *Mycobacterium* et *Pseudomonas* **(Chahal et *al*., 2016).**

4.3.3. Champignons

Les champignons, des végétaux inférieurs appelés Thallophytes, sont hétérotrophes et dépourvus de chlorophylle. Ils vivent sur des matières organiques en décomposition (saprophytes) ou comme parasites sur les animaux et végétaux. Chez les Phycomycètes des eaux polluées, le mycélium reste filamenteux, parfois dense comme des flocons, mais les filaments ramifiés restent généralement séparés **(Wurtz, 1956).**

4.3.4. Protozoaires

Les protozoaires sont des microorganismes majeurs dans les eaux usées, généralement plus grands que les bactéries. Les espèces les plus fréquentes sont *Cryptosporidium parvum*, *Cryptosporidium hominis* et *Giardia duodenalis*, dont la présence dépend du climat, de la saison et du contexte géographique. Ces parasites intestinaux se transmettent par l'eau et sont excrétés dans les selles sous forme d'oocystes ou de kystes résistants, capables d'infecter facilement un nouvel hôte, provoquant diarrhée, douleurs abdominales et nausées. L'infection à *Cryptosporidium* peut être sévère chez les personnes immunodéprimées. D'autres protozoaires pathogènes impliqués dans des épidémies d'origine hydrique incluent *Cyclospora*, *Entamoeba histolytica*, *Isospora belli* et *Enterocytozoon bieneusi* **(Chahal et *al*., 2016).**

4.3.5. Helminthes

Les helminthes sont la plupart des parasites. Leurs œufs présentent une grande résistance, permettant de survivre pendant plusieurs semaines, voire plusieurs mois, dans le sol ou sur les cultures. Dans les eaux usées, leur concentration varie généralement entre 10 et 10^3 œufs/L **(Faby et Brissaud, 1997).**

5. Impacts environnementaux et sanitaires des eaux usées

5.1. Pollution des milieux aquatiques

La pollution de l'eau constitue une grave menace pour les écosystèmes aquatiques et la santé humaine. Les polluants issus des activités agricoles, urbaines et industrielles se répandent dans les cours d'eau, perturbant leur équilibre écologique **(Letourter, 2025).**

- **Sur le plan environnemental :** cette pollution engendre divers phénomènes, tels que l'eutrophisation, la diminution du taux d'oxygène dissous, la dégradation des habitats naturels, la perturbation des chaînes alimentaires et la perte progressive de biodiversité. Les écosystèmes s'en trouvent ainsi fragilisés et leur capacité à fonctionner normalement est réduite **(Letourter, 2025).**
- **Du point de vue sanitaire :** elle a des effets néfastes sur la santé humaine, car les individus peuvent ingérer des agents pathogènes, des toxines et des polluants chimiques en se baignant, en inhalant de l'eau ou en consommant des produits aquatiques. Ceci accroît le risque d'infections, d'intoxications et de maladies graves qui menacent la santé humaine **(Letourter, 2025).**

5.2. Eutrophisation

L'eutrophisation est un phénomène qui perturbe l'équilibre des écosystèmes aquatiques en raison d'une augmentation des nutriments, notamment des nitrates et des phosphates, causée par l'activité humaine **(Flécher, 2017).**

- **Sur le plan environnemental :** l'eutrophisation entraîne une prolifération excessive d'algues, une diminution du taux d'oxygène dissous et, dans les cas extrêmes, une mortalité massive des organismes aquatiques et une perte de biodiversité **(Flécher, 2017).**
- **Du point de vue sanitaire :** la croissance d'algues toxiques et l'émission de gaz dangereux tels que le sulfure d'hydrogène présentent des risques pour la santé humaine par contact ou inhalation **(Flécher, 2017).**

5.3. Risques pour la santé publique

Les eaux usées peuvent présenter un risque sanitaire important en raison de leur teneur en agents microbiologiques et chimiques. La détection de bactéries telles que *Escherichia coli* peut indiquer un risque potentiel sans pour autant impliquer nécessairement une maladie. Il existe une différence claire entre le risque théorique (la présence de bactéries), le risque

expérimental (une dose suffisante pour provoquer une infection) et le risque réel, qui correspond à la survenue effective d'une maladie au sein d'une population exposée à l'agent causal et influencée par l'environnement et l'immunité **(Prost et Boutin, 1989).**

Les eaux usées contiennent divers polluants, tels que des pesticides, des microorganismes pathogènes (virus, bactéries et parasites) et des substances toxiques, qui présentent des risques pour la santé humaine. Selon l'Organisation mondiale de la Santé (OMS), environ 80% des maladies dans le monde sont liées à la consommation d'eau contaminée ou au contact avec celle-ci. Parmi ces maladies, la gastro-entérite, qui touche des centaines de millions de personnes, ainsi que d'autres maladies comme le paludisme et l'onchocercose. Ce risque ne se limite pas aux pays en développement, mais concerne également d'autres régions du monde. C'est pourquoi des normes de qualité de l'eau potable ont été établies afin de garantir un accès à une eau saine pour la santé humaine **(OMS, 2005).**

6. Les normes de rejet des eaux usées

Pour le suivi environnemental et le respect des valeurs limites des rejets d'effluents industriels, les analyse des eaux après traitement doivent être conformes aux limites décrites dans le Décret exécutif n° 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels **(JORADP, 2006).**

Les normes algériennes des effluents liquides industriels, décrites dans le décret n°06-141 de l'année 2006 sont présentés dans le tableau ci-dessous **(Tableau 1)**

Tableau 1 : Valeur limites de certains paramètres de rejets d'effluents liquides industriels. (Décret exécutif n°06-141 du 19 avril 2006) **(JORADP, 2006).**

Paramètres	**Valeurs limites**
Température	30
pH	6, 5-8, 5
MES	35
Azote Kjeldahl	30
Phosphore total	10

DCO	120
DBO5	35
Indice de phénols	0, 3
Hydrocarbures totaux	10
Huiles et graisses	20
Mercure total	0.01
Plomb total	0, 5
Nickel total	0, 5
Fer	3
Composés organiques chlorés	5

Chapitre II :

Épuration des eaux usées

1. Notion de l'épuration

1.1. Définition de l'épuration

En assainissement, l'épuration désigne l'ensemble des procédés qui permettent d'améliorer la qualité des eaux usées rejetées afin qu'elles soient conformes aux exigences du milieu récepteur. Cette opération peut être réalisée selon deux types de procédés différents : le premier est de nature industrielle, et le second repose sur des mécanismes naturels **(Seggaï, 2004).**

1.2. Objectif de l'épuration

L'objectif de l'épuration des eaux usées est la réduction de la pollution, en limitant les rejets de substances chimiques et de matières dangereuses, et la diminution de la proportion d'eaux usées non traitées. Elle vise à favoriser le recyclage et la réutilisation sécurisée de l'eau pour protéger l'environnement et assurer une bonne santé publique. Un traitement efficace des eaux usées constitue ainsi un élément important pour le développement durable et la protection de la santé humaine **(UNEP, 2019).**

1.3. Principe de l'épuration

L'épuration des eaux usées peut être réalisée par des procédés physico-chimiques ou biologiques. Le choix de la méthode dépend de la nature de l'effluent, de sa biodégradabilité et de la présence de substances toxiques. A cause de son coût réduit et de sa simplicité d'exploitation, le traitement biologique est utilisé pour les eaux usées urbaines et certains effluents industriels. Les eaux usées subissent d'abord un prétraitement, puis un traitement primaire, un traitement secondaire et parfois un traitement tertiaire **(Da Motta, 2001).**

2. Filières de traitement des eaux usées

2.1. Prétraitement

Il permet d'éliminer les fractions les plus grossières afin de ne pas perturber les étapes de traitement ultérieures. Il comprend principalement le dégrillage, le dessablage et le dégraissage déshuilage **(Grosclaude, 1999).**

2.1.1. Dégrillage

A l'arrivée, l'eau usée en provenance des égouts passe entre les barreaux métalliques d'une grille qui retient les déchets gros comme les papiers, les feuilles, les matières plastiques

et des objets divers…et l'effluent est relevé jusqu'au niveau de l'usine à l'aide de pompes **(Aussel et *al.*, 2004).**

2.1.2. Dessablage

Le dessablage consiste à éliminer les matières minérales grossières en suspension, telles que les sables et les graviers, dont la vitesse de chute est supérieure à 0, 3 m/s et qui peuvent endommager les installations situées en aval. Ces particules se déposent au fond du dessableur par décantation. L'eau met environ 60 secondes pour traverser l'ouvrage, ce qui permet d'éliminer près de 90 % du sable. Celui-ci est ensuite récupéré à l'aide d'un râteau mécanique et déposé dans une zone d'évacuation **(Rejsek, 2002).**

2.1.3. Déshuilage- dégraissage

Le dégraissage-déshuilage vise à retirer de l'eau les graisses et les huiles afin d'éviter toute perturbation dans le fonctionnement des installations de traitement. Étant donné que ces substances ont une densité inférieure à 1, elles remontent à la surface du dégraisseur où elles sont ensuite récupérées par raclage **(Cardot, 2001).**

2.2. Traitement primaire

2.2.1. Décantation

La décantation se réalise dans des bassins, de forme cyclonique, bien qu'il existe plusieurs autres types de décanteurs. Ce procédé permet d'éliminer environ 70 % des matières minérales et organiques en suspension. Ces particules se déposent au fond du bassin et forment les boues primaires. Celles-ci sont ensuite récupérées par raclage au fond du bassin puis dirigées vers des épaississeurs pour être traitées.L'efficacité de la décantation peut être améliorée par l'ajout de produits chimiques tels que le sulfate d'alumine, le chlorure ferrique ou d'autres agents coagulants. Cette méthode, appelée floculation, permet d'atteindre jusqu'à 90 % d'élimination des matières en suspension **(Aussel et *al.*, 2004)**.

2.2.2. Flottation

La flottation est une technique de séparation solide-liquide ou liquide-liquide utilisée pour les particules ayant une masse volumique plus faible que celle du liquide dans lequel elles se trouvent. Pour extraire les particules en suspension, on utilise des procédés de clarification et d'épaississement par injection d'air. Les bulles d'air se fixent aux particules fines à éliminer et les entraînent vers la surface de l'eau. Ce procédé permet d'éliminer environ 50 à 55 % des

matières en suspension et de réduire d'environ 30 % de la DBO5 et la DCO **(Satin et *al.*, 2010; Vilaginés, 2010).**

2.2.3. Floculation

La floculation est un processus qui permet de regrouper les particules colloïdales et granulaires en facilitant leur mise en contact. Son but est d'augmenter les chances de collision et d'association entre les particules issues de l'étape de coagulation, favorisant ainsi la formation de flocs plus volumineux **(Crini et Badot, 2007).**

2.2.4. Coagulation

La coagulation est un procédé utilisé pour regrouper les particules très fines, telles que les matières en suspension (MES), qui se déposent difficilement. L'ajout de substances chimiques appelées coagulants permet d'augmenter la taille de ces particules et de faciliter leur décantation. Ce processus provoque la déstabilisation des suspensions colloïdales, ce qui contribue à diminuer la turbidité et la concentration des polluants dissous grâce à leur précipitation **(Crini et Badot, 2007).**

2.3. Traitement secondaire (Traitement biologique)

Après la décantation, l'effluent est acheminé vers des bassins munis de systèmes d'aération. Dans ces bassins, des microorganismes déjà présents dans l'eau usée décomposent les matières organiques dissoutes. L'oxygène apporté par l'air insufflé leur permet de respirer et de se multiplier en se nourrissant de la pollution organique. Ces microorganismes jouent aussi un rôle physique de rétention des polluants, car ils ont tendance à s'agglomérer pour former des films ou des flocs, ce qui facilite l'élimination de la pollution **(Aussel et *al.*, 2004).**

Les méthodes de traitement biologique les plus utilisées sont :

- procédés à cultures libres (lagunage, boues activées).
- Procédés à cultures fixées (lits bactériens, biofiltres et disques biologiques).

2.3.1. Procédés à cultures libres

2.3.1.1. Lagunage

L'épuration des eaux est assurée par un temps de séjour prolongé dans plusieurs bassins étanches disposés en série **(Figure 5)**. Le nombre de bassins le plus fréquemment utilisé est de trois. Toutefois, l'adoption d'une configuration comprenant quatre à six bassins permet d'améliorer la désinfection. Le principe du lagunage naturel repose sur la photosynthèse; La

couche superficielle de l'eau est exposée à la lumière, ce qui favorise le développement des algues qui produisent l'oxygène indispensable à la croissance des bactéries aérobies responsables de la dégradation de la matière organique. Le dioxyde de carbone généré par ces bactéries associées aux sels minéraux présents dans les eaux usées stimulent la prolifération des algues. Il s'établit aussi une interaction étroite entre deux populations interdépendantes : les bactéries et les algues planctoniques (microphytes). Ce cycle se maintient de manière autonome tant que le système bénéficie d'un apport en énergie solaire et en matière organique. Au fond des bassins, où la lumière ne pénètre pas, des bactéries anaérobies assurent la dégradation des sédiments issus de la décantation de la matière organique. Cette activité entraîne un dégagement de dioxyde de carbone et de méthane **(Perera et Baudot, 2001).**

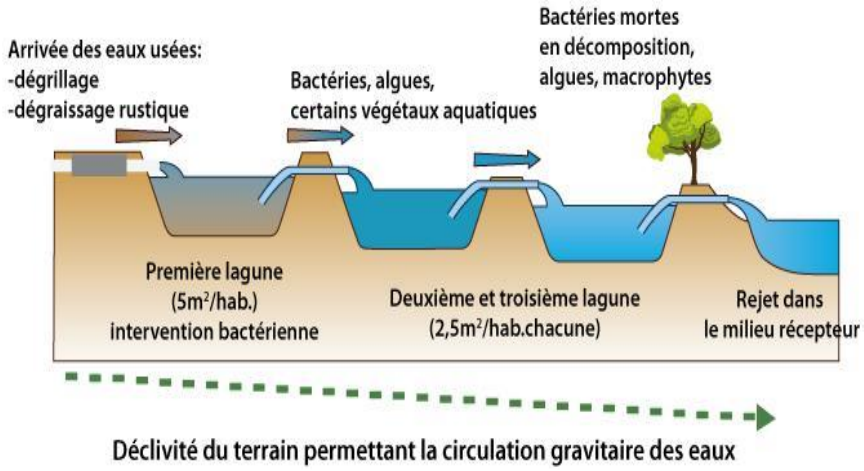


Figure 5 : Le procédé de lagunage **(Site 5)**

2.3.1.2. Boues activées

Le procédé des boues activées repose sur le principe qu'une eau usée, lorsqu'elle est aérée, favorise le développement rapide de bactéries capables de dégrader les matières organiques polluantes **(Figure 6).** Dans des conditions d'oxygénation optimales, les micro-organismes présents dans l'eau usée se multiplient et se regroupent pour former des flocs. Lorsque l'eau est au repos, ces flocs peuvent être facilement séparés du liquide par décantation.Le principe de cette méthode consiste donc à stimuler la formation d'un floc bactérien dans un bassin d'aération alimenté en eaux usées à traiter. Pour empêcher la sédimentation des flocs dans ce bassin, un brassage intense est indispensable **(Gaid, 1984)**.

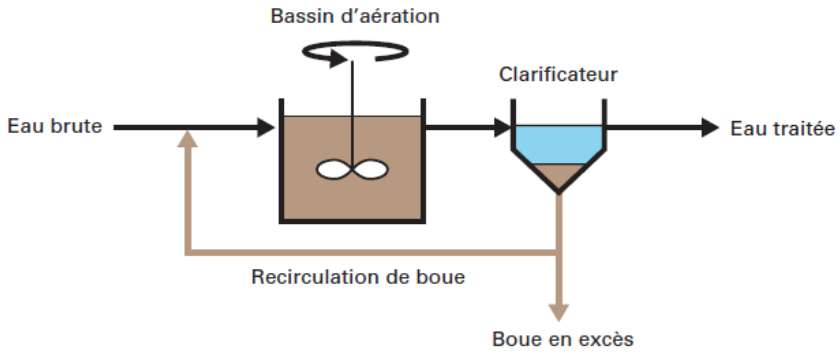


Figure 6 : Le procédé d'épuration par boue activée **(Site 6)**

2.3.2. Procédés à cultures fixées

2.3.2.1. Lits bactériens

Le lit bactérien fonctionne en faisant circuler les eaux usées **(Figure 7)**, déjà décantées, sur une couche de matériaux poreux ou caverneux qui sert de support au développement des micro-organismes épurateurs, principalement des bactéries. Une aération est assurée soit par tirage naturel, soit par ventilation forcée, afin d'apporter l'oxygène nécessaire au bon fonctionnement des bactéries aérobies. Les substances polluantes présentes dans l'eau ainsi que l'oxygène de l'air diffusent en sens inverse à travers le film biologique jusqu'aux micro-organismes qui les assimilent. Dans ce film biologique, on trouve des bactéries aérobies à la surface et des bactéries anaérobies dans les zones plus profondes **(Berland et *al.*, 2001).**

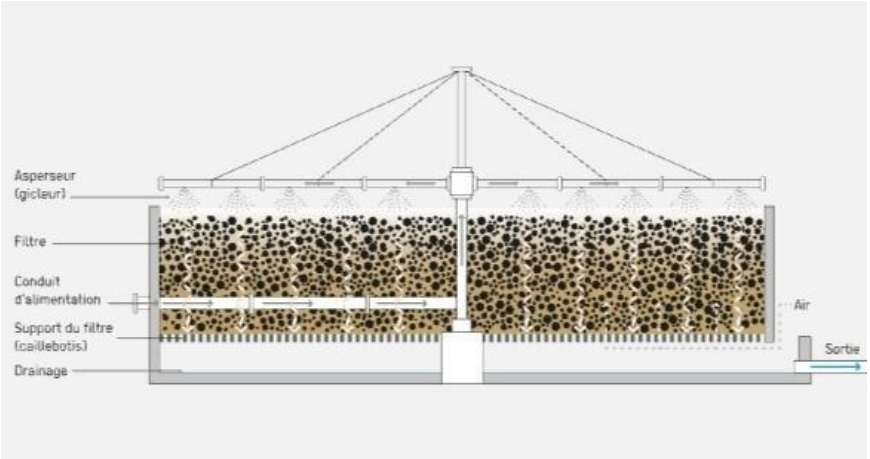


Figure 7 : Un lit bactérien et leur composants **(Site 7)**

2.3.2.2. Biofiltres

Les biofiltres sont des systèmes de traitement qui associent des mécanismes physiques et biologiques **(Figure 8)**. Ils utilisent un matériau filtrant de taille millimétrique, immergé dans l'eau et pouvant être aéré ou non selon l'objectif du traitement. Sur ce support se développent

des populations bactériennes qui contribuent à la dégradation de la charge polluante présente dans l'effluent. Avec la croissance de la biomasse et l'accumulation des matières en suspension (MES), le biofiltre peut se colmater, ce qui nécessite des opérations de lavage périodiques, généralement effectuées quotidiennement **(Deronzier et Choubert, 2004).**

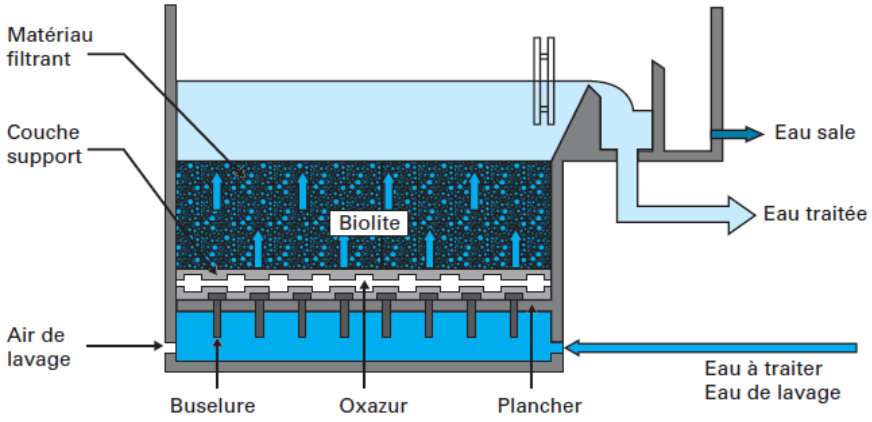


Figure 8 : La structure d'un biofiltre **(Site 8)**

2.3.2.3. Disques biologiques

Une technique basée sur les cultures fixes est celle des disques biologiques tournants. Dans ce procédé, les micro-organismes se développent à la surface des disques et forment un film biologique qui assure l'épuration de l'eau **(Figure 9)**. Comme les disques sont partiellement immergés, leur rotation permet d'alterner le contact avec l'eau et l'air, ce qui favorise l'oxygénation de la biomasse fixée **(Berland et *al.*, 2001).**

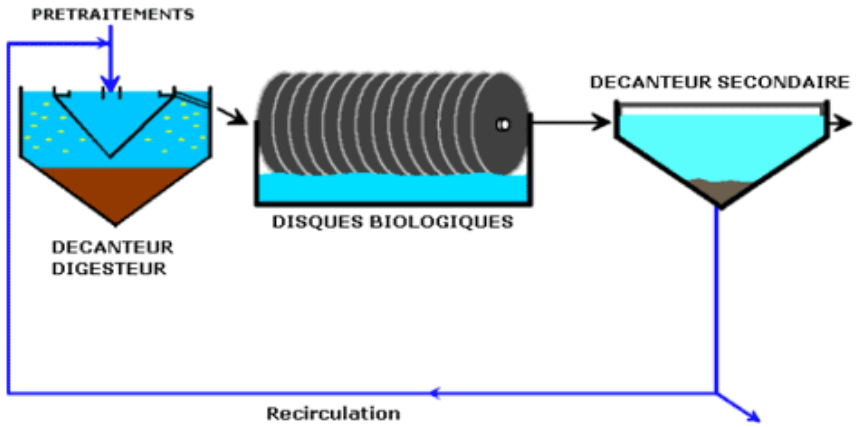


Figure 9 : Traitement par le procédé des disques biologiques **(Site 9)**

2.4. Traitement tertiaire

Certains rejets d'eaux traitées sont soumis à des réglementations spécifiques concernant l'élimination de l'azote, du phosphore ou encore des germes pathogènes, ce qui impose la mise

en œuvre d'un traitement tertiaire. Il englobe l'ensemble des procédés physiques et chimiques venant compléter les traitements primaires et secondaires **(Rejsek, 2002).**

2.4.1. Élimination de l'azote

L'azote peut être éliminé des eaux par plusieurs procédés :

- physiques : par décantation lorsqu'il est associé aux matières en suspension.
- physico-chimiques : tels que le stripping sous forme d'ammoniac en milieu basique (pH élevé), ainsi que les réactions d'oxydation et de réduction.
- biologiques : impliquant son assimilation par les bactéries, puis sa transformation en nitrates et enfin en azote gazeux au cours des processus de nitrification et de dénitrification **(Deronzier et *al.*, 2001).**

Dans les stations d'épuration biologiques, l'efficacité des mécanismes physico-chimiques reste limitée, compte tenu de la composition des eaux usées et des conditions du milieu. Ainsi, le traitement repose sur des procédés physiques (la décantation et la rétention) et surtout sur des procédés biologiques (assimilation, nitrification et dénitrification) **(Deronzier et *al.*, 2001).**

2.4.1.1. Nitrification

La nitrification de l'azote ammoniacal est assurée par des bactéries autotrophes en présence d'oxygène dissous. Cette transformation peut être résumée par une réaction globale conduisant à la formation de nouvelles bactéries nitrifiantes, d'eau, de nitrates et de bicarbonate. Ce processus se déroule en deux étapes successives :

- la nitritation, qui correspond à l'oxydation de l'ammonium (NH_4^+) en nitrites (NO_2^-),
- la nitratation, qui consiste en l'oxydation des nitrites en nitrates (NO_3^-).

La nitritation est réalisée par des bactéries nitreuses; telles que *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus* et *Nitrospira*, qui jouent un rôle important dans cette étape.Ainsi, La nitratation est assurée par des bactéries nitriques du genre *Nitrobacter*. Ces micro-organismes sont autotrophes du carbone : ils utilisent le carbone minéral sous forme de bicarbonates, comme source de carbone, et les formes réduites de l'azote comme source d'énergie.

D'une manière globale, la nitrification biologique peut être exprimée par l'équation suivante :

$$NH_4^+ + 1,83\ O_2 + 1,98\ HCO_3^- \rightarrow 0,02\ C_5H_7NO_2 + 1,04\ H_2O + 0,98\ NO_3^- + 1,88\ H_2CO_3$$

(ammonium + oxygène + bicarbonate → biomasse bactérienne + eau + nitrates + acide carbonique) **(Deronzier et *al*., 2001).**

2.4.1.2. Dénitrification

La dénitrification biologique est un processus par lequel les bactéries hétérotrophes consomment la matière organique en absence d'oxygène dissous, mais en présence de nitrates. Cette réaction peut être exprimée par l'équation :

NO_3^- + matière organique → nouvelles bactéries + N_2 + H_2O + CO_2 **(Deronzier et *al*., 2001).**

On appelle cette réaction « dénitrification » parce qu'elle correspond à la réduction des nitrates en azote gazeux (N_2). Cette réaction permet à un grand nombre de bactéries hétérotrophes, aérobies facultatifs, d'obtenir leur énergie à partir des nitrates lorsque l'oxygène dissous est absent. Ces bactéries, qui ont besoin de carbone organique, utilisent de l'azote ammoniacal pour satisfaire leurs besoins en azote. Environ 50 % des bactéries présentes dans les stations d'épuration sont capables d'effectuer cette respiration des nitrates. La dénitrification biologique peut être représentée par la réaction suivante :

0, 61 C_{18} H_{19} NO_9 + 4, 5 NO_3^- → $C_5H_7NO_2$ + 2, 27 N_2 + 0, 39 NH_4 + 4, 15 H_3O+ + 5, 98 CO_2 + 9, 3 H_2O **(Deronzier et *al*., 2001).**

2.4.1.3. Assimilation

La dégradation de la matière organique par les bactéries hétérotrophes en présence d'oxygène dissous peut être représentée par la réaction suivante :

O_2 + matière organique → nouvelles bactéries + CO_2 + H_2O.

Ces micro-organismes, ainsi que les protozoaires impliqués dans le traitement de la pollution organique, ont besoin de plusieurs éléments chimiques pour leur métabolisme. Parmi ces éléments, l'azote car il constitue un composant essentiel de la cellule bactérienne, représentant environ 5 % de sa matière sèche. Les besoins en azote correspondent presque à 5 % de la DBO_5 éliminée par la culture bactérienne **(Deronzier et *al*., 2001).**

En tenant compte des apports supplémentaires en matières minérales et de la fixation de l'azote organique particulier, les boues des systèmes d'épuration biologique contiennent environ 7 % d'azote par rapport aux matières en suspension **(Deronzier et *al*., 2001).**

2.4.2. Élimination du phosphore

La déphosphatation des eaux usées regroupe l'ensemble des procédés visant à réduire la teneur en phosphore pour limiter les phénomènes d'eutrophisation. Elle peut être réalisée par voie biologique, où le phosphore est assimilé par les micro-organismes pour la synthèse de leur biomasse et éliminé avec les boues, ou par voie physico-chimique, où l'ajout de sels métalliques (aluminium ou fer) permet la précipitation du phosphore sous forme insoluble ensuite séparée par décantation. Une combinaison des deux procédés peut également être utilisée pour améliorer les performances d'élimination et atteindre des rendements élevés **(Sticker et Héduit, 2010).**

2.4.3. Élimination des odeurs

Les eaux usées, riches en matières organiques, qu'elles soient particulières ou dissoutes, peuvent provoquer directement ou indirectement la formation de mauvaises odeurs, notamment à travers leurs sous-produits de traitement tels que les graisses et les boues, selon un processus de fermentation. Les mauvaises odeurs des stations d'épuration sont principalement causées par les gaz, les aérosols et les vapeurs libérés à partir de certains composants présents dans les eaux usées ou générés durant les différentes étapes du traitement (le prétraitement, Les boues; leur gestion et leur traitement) **(Attab, 2011).**

Pour limiter ces odeurs, les installations sensibles doivent être fermées et équipées d'un système de ventilation, ainsi que d'un dispositif de traitement biologique des odeurs. On distingue généralement deux procédés de traitement biologique des odeurs : les biofiltres et les bio-laveurs **(Attab, 2011).**

- Dans les biofiltres, la biomasse est fixée sur un support spécifique et l'air traverse le matériau filtrant, souvent composé de tourbe **(Attab, 2011).**
- Les bio-laveurs fonctionnent grâce à une biomasse en suspension; l'épuration se réalise alors dans un réacteur biologique **(Attab, 2011).**

2.4.4. Désinfection

La désinfection des eaux usées est une étape complémentaire du traitement après les procédés d'épuration, elle vise à réduire ou éliminer les micro-organismes pathogènes présents dans l'eau traitée. Elle repose sur différents procédés physiques, chimiques ou biologiques, tels que les rayonnements ultraviolets (UV), l'ozonation, la Chloration….L'objectif de cette étape est d'assurer une qualité microbiologique conforme aux exigences réglementaires, et permet la

réutilisation des eaux usées traitées, donc de protéger la santé publique, des zones de baignade et des milieux aquatiques, aussi des ressources destinées à la production d'eau potable **(Besnault et *al*., 2024).**

2.4.4.1. Méthodes chimiques

- **Chloration**

Le chlore est un agent oxydant puissant qui agit sur les composés organiques, les substances réduites ainsi que sur les micro-organismes. Les principaux produits utilisés sont le chlore gazeux (Cl_2), l'hypochlorite de sodium (NaClO), connu sous le nom d'eau de Javel, l'hypochlorite de calcium ($Ca(ClO)_2$), le chlore de chaux et le chlorite de sodium ($NaClO_2$) **(Gaid, 1984)**

- **Ozonation**

L'ozone (O_3) constitue un oxydant très efficace. Il permet d'éliminer les bactéries, les virus et les protozoaires, et représente l'un des procédés les plus performants contre les virus. Les essais de toxicité réalisés sur les organismes aquatiques n'ont pas mis en évidence d'effets nocifs significatifs **(Gaid, 1984)**

2.4.4.2. Méthodes physiques

- **Rayons ultraviolets (UV)**

Ils utilisent des lampes à mercure placées dans le flux d'eau. Leur rayonnement agit directement sur les micro-organismes. Cette méthode est simple, ne nécessite ni stockage ni manipulation de produits chimiques, et ne modifie pas les caractéristiques chimiques de l'eau traitée **(Gaid, 1984)**

- **Filtration**

Elle est un procédé physique permettant de retenir les micro-organismes à travers un milieu filtrant. Soit sur sable ou sur membrane, cette technique nécessite un traitement secondaire préalable afin d'assurer une élimination efficace des matières en suspension **(Gaid, 1984).**

3. Traitement biologique des eaux usées par boue activée

3.1. Principe du traitement par boue activée

Le principe de la technologie des boues activées repose sur l'amélioration et le renforcement des processus naturels d'auto-épuration de l'environnement. Ce procédé implique

la décomposition des polluants en présence d'oxygène, grâce à l'action de micro-organismes spécialisés qui réagissent avec l'eau à traiter et la purifient. Dans une étape ultérieure, l'eau traitée est séparée des boues activées **(Berland, 2024).**

3.2. L'effet des facteurs physico-chimiques dans la boue activée

3.2.1. L'effet de température

Le traitement thermique des boues activées est une méthode physico-chimique utilisée pour améliorer les propriétés des boues produites dans les stations d'épuration. L'augmentation de la température influence significativement les propriétés physico-chimiques et biologiques des boues. Les effets de la chaleur sur les boues activées sont les suivants :

• Augmentation du pH avec la température.

• Diminution de la demande chimique en oxygène (DCO).

• Diminution du rapport matières en suspension/matières en suspension totales due à la dissolution de la matière organique.

• Diminution de la viscosité apparente des boues, conformément à la loi de force.

• Diminution de la contrainte seuil, facilitant l'écoulement et le pompage des boues.

• Amélioration de la solubilité et de la biodégradabilité des polymères exogènes.

• Modification de la structure de floculation sous l'effet de la chaleur **(Hammadi et *al*., 2008).**

Le traitement thermique le plus efficace pour réduire la DCO est obtenu à 95 °C, comparativement à 80 °C et 105 °C **(Hammadi et *al*., 2008).**

3.2.2. L'effet d'aération

Dans ce système de station d'épuration, l'aération joue un rôle crucial. Elle fournit l'oxygène nécessaire à l'activité des micro-organismes aérobies et maintient la suspension des communautés biologiques, contrôlant ainsi l'efficacité du traitement. Les principaux effets de l'aération sur les boues activées sont les suivants :

• Apport d'oxygène dissous, essentiel aux processus métaboliques des bactéries aérobies responsables de la décomposition de la matière organique.

• Maintien de la suspension des boues grâce au brassage induit par l'air insufflé dans le bassin d'aération.

• Favorise la compaction et la stabilité des communautés biologiques par l'agitation et le contact entre les micro-organismes et la matière organique.

• Réduit les polluants organiques par l'oxydation de la matière organique en dioxyde de carbone, eau et biomasse.

• Réduit la viscosité des boues et facilite leur écoulement par injection d'air, ce qui influe sur leurs propriétés biologiques.

• Contribue à l'amélioration de la nitrification grâce à une concentration adéquate d'oxygène dissous.

• Augmente la consommation énergétique des stations d'épuration, l'aération étant l'étape la plus énergivore du procédé. Modifier la taille et la structure des communautés microbiennes en faisant varier l'intensité de l'aération **(Fan et *al*., 2017).**

3.2.3. L'effet du pH

Le pH est un paramètre important qui influence directement l'activité des micro-organismes impliqués dans les processus biologiques, notamment la nitrification et la dénitrification. Par conséquent, toute variation de son niveau a un impact négatif sur les performances globales du système de traitement.L'effet du pH sur les boues activées est comme suit :

• Le pH influence significativement l'activité des bactéries nitrifiantes responsables de la conversion de l'ammonium.

• En milieu acide, l'activité des micro-organismes impliqués dans la nitrification diminue, ce qui réduit l'efficacité du processus de dénitrification.

• Les variations de pH peuvent engendrer des déséquilibres au sein des communautés microbiennes du système **(Kokina et *al*., 2022).**

L'étude montre que le maintien d'un pH stable garantit de meilleures performances du traitement biologique **(Kokina et *al*., 2022).**

3.3. Étapes de procédé de la boue activée

3.3.1. Bassin d'aération

Le traitement par boues activées consiste à mettre les eaux usées en contact avec des microorganismes au sein d'un réacteur biologique, dans un environnement riche en oxygène. L'air est insufflé en continu par aération mécanique ou diffusion, oxydant la matière organique

pour produire du dioxyde de carbone, de l'eau et une nouvelle biomasse microbienne **(Klott et Atkinson, 2003; Yildiz, 2012).** Durant cette étape, les micro-organismes s'agglomèrent et s'agglutinent progressivement, formant des bio flocons qui facilitent leur séparation lors de la sédimentation **(Klott et Atkinson, 2003).**

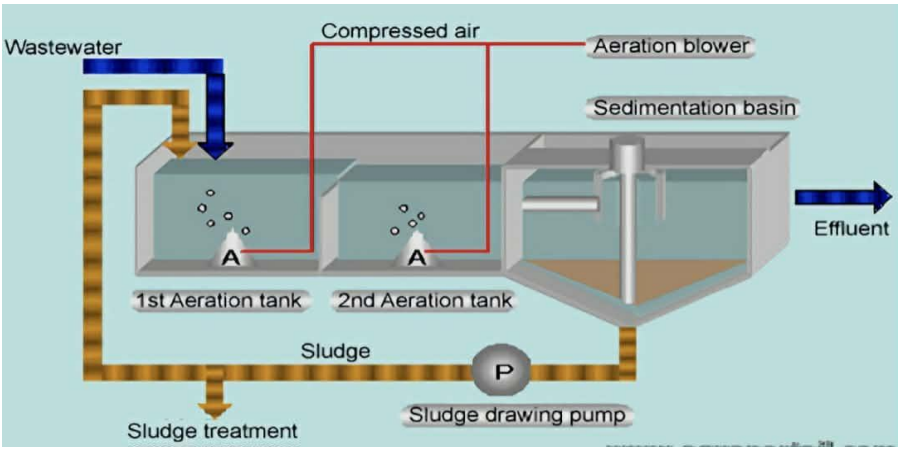


Figure 10 : Bassin d'aération **(Site 10)**

3.3.2. Zones biologiques

Dans les systèmes plus avancés, le procédé peut être divisé en plusieurs zones fonctionnelles, chacune réalisant des traitements spécifiques.

● Zone anaérobie

Dans cette zone sans air ni nitrates, les micro-organismes effectuent des fermentations qui produisent des composés organiques tels que l'acétate et le succinate. Ces éléments jouent un rôle crucial dans l'activation des bactéries accumulant le phosphore **(Klott et Atkinson, 2003).**

● Zone anoxique

Cette zone est caractérisée par la présence de nitrates et l'absence d'oxygène dissous. C'est le siège de la dénitrification, où des bactéries spécialisées réduisent les nitrates en azote gazeux **(Klott et Atkinson, 2003).**

● Zone aérobie

À ce stade, la matière organique restante est oxydée. L'ammoniaque est converti en nitrite, puis en nitrate, et la biomasse microbienne réabsorbe le phosphore **(Klott et Atkinson, 2003; Yildiz, 2012).**

3.3.3. Sédimentation (sédimentation secondaire)

Une fois le traitement biologique terminé, le mélange eau-boues est transféré dans un bassin de sédimentation secondaire **(Figure 11)** où la biomasse se dépose par gravité. Ce processus permet d'obtenir une eau traitée à faible teneur en matières solides **(Yildiz, 2012).**

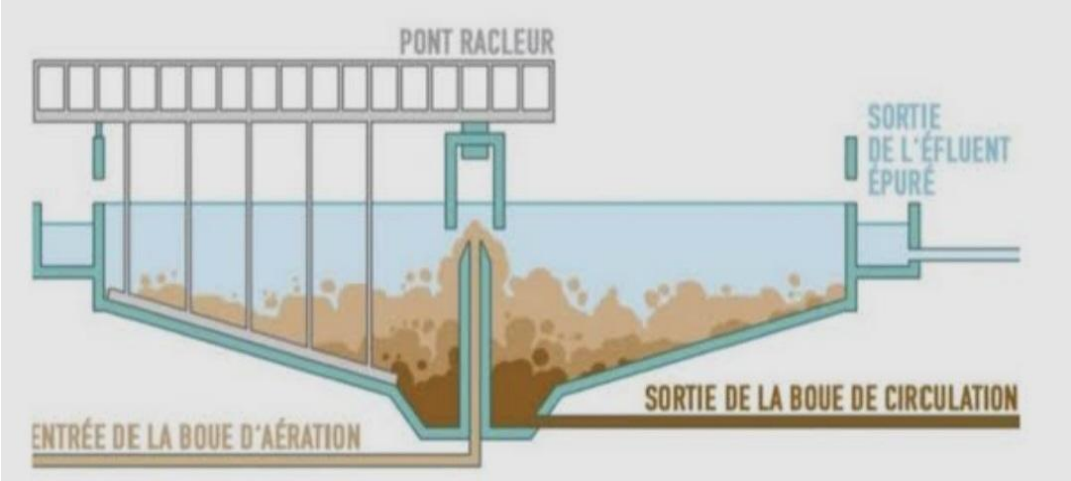


Figure 11 : Bassin de sédimentation secondaire **(Site 11)**

3.3.4. Recyclage et lavage des boues

Une partie des boues décantées est introduite dans le bassin d'aération afin de maintenir une concentration suffisante de micro-organismes actifs et d'assurer la continuité du processus biologique. L'excédent de boues est éliminé pour éviter une accumulation excessive de biomasse et la réduction de l'efficacité du traitement qui en découle **(Klott et Atkinson, 2003; Yildiz, 2012).**

3.4. Paramètres de fonctionnement

3.4.1. Temps de séjour

Le temps de séjour des boues correspond à la durée moyenne de séjour des microorganismes dans le réacteur biologique lors des procédés à boues activées. Ce temps influe directement sur l'efficacité d'élimination des nutriments, les propriétés des boues et la formation de polluants secondaires tels que le protoxyde d'azote (N_2O). Un temps de rétention des boues élevé est nécessaire au maintien des bactéries nitrifiantes à croissance lente et à une nitrification optimale. C'est pourquoi de nombreuses stations d'épuration privilégient les temps de rétention longs afin d'optimiser la nitrification et d'éviter une surproduction des boues **(Li et Wu, 2014).**

À l'inverse, l'augmentation du temps de rétention des boues réduit l'efficacité d'élimination du phosphore en raison d'une diminution du volume de boues rejetées et du risque de relargage de phosphore dans le bassin de sédimentation **(Pai et *al*., 2010).** Par exemple, la réduction du temps de rétention des boues de 15 à 5 jours entraîne une diminution de l'élimination de l'ammonium (NH_4-N) de 90 % à 26 % et une diminution de l'azote total (NT) de 14 % à 8 % **(Kargi et Uygur, 2002).**

3.4.2. Âge de boue

L'âge des boues correspond au rapport entre la masse totale de boues présentes dans le bassin de traitement biologique et la quantité de boues extraites quotidiennement. Ce temps permet d'estimer la durée de vie moyenne des micro-organismes dans le système, ce qui influe sur leur activité métabolique et la formation de leur biomasse. Une longue durée de vie des boues est directement liée à une charge de boues plus faible, ce qui favorise la croissance des bactéries nitrifiantes. Par conséquent, la durée de vie des boues détermine non seulement l'efficacité du traitement, mais aussi la capacité du système à réaliser les processus de nitrification **(Lacroix, 2008).**

3.4.3. Le rapport F/M

Le rapport Food/Microorganism (ou charge massique) est le rapport entre la masse de demande biologique en oxygène (DBO5) reçue en une journée et la masse de microorganismes présents dans le bassin d'aération : F/M= DBO5 (kg/j) / MVS (kg). Il représente la quantité de matière organique disponible par rapport à la biomasse dans le système à boues activées. Ce facteur influe directement sur l'efficacité du traitement, la stabilité des boues, la durée de vie de la biomasse, la production de boues et la consommation d'oxygène. Il détermine également le processus de floculation nécessaire à une sédimentation optimale dans le décanteur. Selon le niveau de charge, on distingue trois niveaux : faible charge (substrat limité et boues plus stables), charge moyenne (un compromis) et charge élevée (oxydation plus rapide mais biomasse plus faible). Le rapport F/M peut varier en fonction des conditions de fonctionnement et être ajusté en fonction de la masse de micro-organismes ou de la charge appliquée au système **(Canler et *al*., 2007).**

3.5. Avantages et limites du procédé de traitement par boues activées

Le procédé à boues activées est l'un des procédés biologiques les plus utilisés dans le traitement des eaux usées en raison de sa grande efficacité d'épuration. Cependant, cette

technologie présente certaines limitations liées aux coûts d'exploitation et aux exigences techniques **(Bakiri, 2014).**

Les avantages du procédé à boues activées sont :

• Relativement simple à mettre en œuvre et adaptable à diverses conditions d'exploitation.

• Très haute efficacité d'élimination des polluants organiques.

• Production de boues biologiques stables à faible fermentation.

• Réduction des pertes d'eau dans le sol grâce à un système contrôlé.

• Potentiel d'élimination du phosphore des eaux usées.

• Épuration efficace, aboutissant à une eau traitée de haute qualité.

• Capacité à traiter de grands volumes d'eaux usées **(Bakiri, 2014).**

Ainsi les inconvénients du procédé à boues activées sont :

• Coût élevé d'installation.

•Forte consommation d'énergie, notamment pour l'aération.

• Nécessité de personnel qualifié pour la surveillance et le contrôle du procédé.

• Sensibilité aux fluctuations hydrauliques et aux surcharges.

• Production de grandes quantités de boues, nécessitant ainsi des étapes de concentration et de traitement.

• Un système automatisé sophistiqué qui requiert un entretien régulier.

• La nécessité de disposer d'un système adapté pour l'élimination ou la récupération des boues **(Bakiri, 2014).**

Chapitre III :

Composition microbiologique de la boue activée

1. Définition de la boue activée

Il s'agit d'un liquide de couleur marron à gris, constitué de particules riches en micro-organismes vivants. Il est formé à partir d'eaux usées, qu'elles soient brutes ou décantées, grâce à la prolifération des micro-organismes (les bactéries) dans des bassins d'aération où l'oxygène dissous est présent. Ce mélange contient aussi des débris végétale et minérale. L'analyse des microorganismes qui se développent et l'interaction entre eux, permet de mieux comprendre les mécanismes de l'épuration biologique **(Rejsek, 2002).**

2. Types des boues

On distingue quatre types de boues : les boues primaires, les boues secondaires (boues activées), les boues physico-chimiques et les boues mixtes. Ces différentes catégories proviennent des divers procédés de traitement des eaux usées (**Canler et Perret, 2013).**

2.1. Boues primaires

Elles résultent du traitement primaire des effluents, obtenu par une décantation simple des matières en suspension présentes dans les eaux usées. Ce procédé permet de retenir environ 70 % de ces matières, qui se déposent sous forme de sédiments. Ces boues se caractérisent par une forte teneur en matières minérales et organiques susceptibles d'évoluer **(Canler et Perret, 2013).**

2.2. Boues Secondaires (Boues activées)

Il s'agit de boues issues d'un traitement biologique des effluents, caractérisées par une concentration faible (environ 10 g/L). Elles sont riches en matières organiques et proviennent principalement des résidus de bactéries développées dans les installations d'épuration. Ces microorganismes se sont alimentés des matières organiques présentes dans les eaux usées, qu'ils ont ensuite dégradées **(Canler et Perret, 2013).**

2.3. Boues physico-chimiques

Les boues physico-chimiques présentent des caractéristiques similaires aux boues primaires, mais elles contiennent en plus des agents floculants. Lors du traitement des eaux usées, l'ajout de réactifs tels que les sels de fer, d'aluminium ou d'autres coagulants permet d'agglomérer les particules fines et d'améliorer la décantation. Ce procédé peut ainsi retenir jusqu'à 90 % des matières en suspension. Après leur séparation par décantation, les boues obtenues renferment une proportion importante de sels minéraux provenant à la fois des eaux brutes et des produits coagulants utilisés **(Canler et Perret, 2013).**

2.4. Boues mixtes

Les boues mixtes résultent de la combinaison des boues primaires et secondaires, et proviennent de la majorité des filières complètes de traitement. Dans les stations de grande capacité (dizaines de milliers d'équivalents habitants), il est possible d'envisager un traitement séparé pour chaque type de boue **(Canler et Perret, 2013).**

3. Notion de la biomasse microbienne

3.1. Définition de la biomasse microbienne

La biomasse microbienne est l'ensemble des organismes vivants présents dans les boues activées. Les bactéries y jouent un rôle important dans le processus d'épuration, mais elles ne sont pas seules : d'autres microorganismes tels que les protozoaires et les métazoaires, contribuent au bon fonctionnement et à l'équilibre de cet écosystème. La composition de cette communauté biologique varie en fonction du type de station d'épuration et de ses conditions d'exploitation **(Rejsek, 2002).**

3.2. Rôle de la biomasse microbienne dans le procédé de l'épuration

La biomasse microbienne constituée principalement de bactéries, joue un rôle central dans l'épuration des eaux usées. Elle assure la dégradation biologique de la matière organique et des polluants dissous, en les transformant en composés plus simples. Dans les procédés de traitement tels que les boues activées, les microorganismes se développent en forte concentration et assimilent les éléments polluants (carbone, azote, phosphore), formant des flocs décantables. Aussi, dans les systèmes de biofiltration, ils sont fixés sur un support et contribuent à l'élimination des contaminants. Ainsi, la biomasse microbienne reproduit des mécanismes naturels d'auto épuration des milieux aquatiques **(SIAAP).**

3.3. Caractéristiques de la biomasse microbienne

La biomasse microbienne présente dans les systèmes de traitement des eaux usées se caractérise par une grande diversité biologique. Elle est composée de bactéries appartenant à différents groupes taxonomiques tels que les *Protéobactéries* et les *Actinobactéries*, qui jouent un rôle dans les processus de dégradation de la matière organique et des nutriments. Cette biomasse possède une forte capacité d'adaptation aux conditions environnementales variables telles que la température, la charge organique et la disponibilité en oxygène. Elle peut se développer sous forme de flocs, de biofilms ou de granules, assurant une bonne efficacité de traitement. Les microorganismes de la biomasse produisent aussi des substances polymériques

extracellulaires (EPS), qui favorisent l'agrégation cellulaire et la stabilité de la structure des boues. Cette organisation améliore les propriétés de décantation et la performance globale des systèmes d'épuration.Enfin, la composition et la structure de la biomasse évoluent avec le temps et les conditions de fonctionnement du réacteur, ce qui influence sur l'efficacité des processus biologiques **(Cydzik-Kwiatkowska et *al*., 2018).**

4. Composition microbiologique de la boue activée

4.1. Les virus

Les virus sont des agents infectieux de très petite taille, allant d'environ 16 nm à plus de 300 nm selon les types. Ils sont constitués d'un seul type d'acide nucléique(ADN ou ARN) entouré d'une capside protéique, et parfois d'une enveloppe lipidique. Dépourvus de ribosomes et de systèmes métaboliques propres. Leur réplication ne se fait qu'à l'intérieur des cellules hôtes qu'ils infectent, en détournant leur machinerie cellulaire, ce qui en fait des parasites intracellulaires obligatoires **(Modrow et *al*., 2013).**

4.1.1. Origine des virus dans les eaux usées

Les virus présents dans les eaux usées constituent une pollution biologique véhiculée par les effluents contaminés d'origine domestique, urbaine, hospitalière et industrielle. Ces eaux sont chargées en virus animaux et bactériens, comme les virus entériques, qui sont libérés dans les fèces et transportés par les réseaux d'égout. Les quantités de particules virales rejetées par les sujets infectés peuvent être très élevées, contribuant ainsi à la contamination du milieu aquatique. L'Homme est considéré comme contaminant primaire et récepteur secondaire, et la transmission des virus peut se faire par l'utilisation des eaux contaminées, la baignade ou la consommation d'aliments contaminés **(Benyahya et *al*., 1998).**

4.1.2. Les principaux virus retrouvés dans la boue activée

Les eaux usées et les boues activées contiennent plusieurs familles de virus entériques, notamment les *Picornaviridae* (*poliovirus*, *échovirus*, virus de *l'hépatite A*), *les Reoviridae* (*réovirus*, *rotavirus*), *les Adenoviridae*, *les Coronaviridae*, *les Caliciviridae* et les petits virus ronds tels que *les astrovirus* et les virus de type *Norwalk*. Ces virus proviennent des matières fécales humaines et animales et se retrouvent dans les milieux hydriques contaminés **(Benyahya et *al*., 1998).**

4.2. Les bactéries

Les bactéries sont des micro-organismes unicellulaires présentant des formes variées, sphériques, allongées ou incurvées. Leur taille se situe entre 0, 5 et 5 µm, à l'exception des bactéries filamenteuses qui peuvent atteindre des dimensions bien plus importantes, allant de 10 à plus de 500 µm. Dans les boues activées, ces bactéries sont majoritairement des organismes aérobies facultatifs, à Gram négatif, mobiles, et issues du sol ou des milieux aquatiques. Elles se distinguent par une surface d'échange importante avec leur environnement, ce qui favorise des taux de croissance élevés. Certaines peuvent se diviser en 20 minutes, notamment celles impliquées dans l'élimination de la pollution carbonée. À l'inverse, les bactéries autotrophes responsables de la nitrification de l'azote ammoniacal se développent plus lentement, avec un rythme d'une division par jour. Elles possèdent une grande diversité enzymatique **(Canler et *al*., 1999).**

4.2.1. Les principaux bactéries retrouvées dans la boue activée

Il existe des bactéries responsables de l'élimination de l'azote dans la boue activée se sont des bactéries nitrifiantes responsables de la nitritation comme le genre *Nitrosomonas* **(Figure 12)**, et autres sont responsables de la nitratation tels que le genre *Nitrobacter* **(Figure 13)**, aussi des bactéries dénitrifiantes comme *Bacillus* et *Thiobacillus* **(Pandolfi, 2006).** Et des bactéries responsables de la déphosphatation **(Gu et *al*., 2005)**

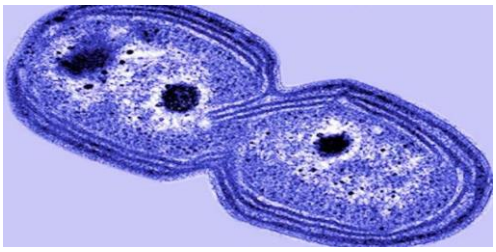


Figure 12 : *Nitromonas* **(Site 12)**

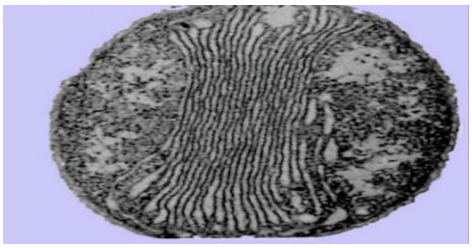


Figure 13 : *Nitrobacter* **(Site 12)**

La boue activée contient également des bactéries pathogènes tels que les coliformes fécaux **(Figure 14)** et totaux **(Rodier et *al.*, 1996)**, les streptocoques fécaux comme le genre *Enterococcus* et les streptocoques du groupe antigénique D **(AFNOR, 1994)**, les salmonelles **(CEAEQ, 2006),** les Staphylocoques comme *S. epidermidis, S. saprophyticus* et *S. aureus* **(Pilet, 1983),** et aussi les anaérobies sulfito-réducteurs comme le genre *Clostridium* **(Nathaolie, 2002).**



Figure 14 : *Escherichia coli* **(Site 13)**

4.3. Les algues

Les algues sont des organismes microscopiques capables de faire la photosynthèse. Elles utilisent la lumière du soleil comme source d'énergie pour leur croissance. Au cours de ce processus, elles consomment du dioxyde de carbone et des minéraux présents dans le milieu aquatique, et les transforment en éléments nécessaires à leur croissance et à leurs fonctions cellulaires **(Pedroni et *al.*, 2001).**

De nombreux types d'algues peuvent se développer dans les eaux usées, comme les algues vertes, particulièrement *Chlorella vulgaris* **(Figure 15) (Gao et *al.*, 2016).**



Figure 15 : *Chlorella vulgaris* **(Site 14)**

4.3.1. Rôle des algues dans le traitement des eaux usées

Les algues jouent un rôle essentiel dans le traitement des eaux usées en absorbant les nutriments du milieu aquatique, tels que les composés azotés et phosphorés, contribuant ainsi à la réduction de la pollution. Elles participent également à la diminution de la charge polluante, notamment la demande biologique en oxygène (DBO5) et la demande chimique en oxygène (DCO), grâce à leur activité photosynthétique qui fournit l'oxygène nécessaire aux bactéries aérobies pour l'oxydation de la matière organique **(Gao et *al.*, 2016).**

4.4. Les champignons

Les champignons constituent une partie importante de la communauté microbienne des boues activées présentes dans les stations d'épuration. Ils constituent une composante essentielle du microbiome des systèmes de traitement des eaux usées, où ils se développent et prospèrent au sein de communautés biologiques. Leur présence est liée à la diversité microbienne de ces environnements complexes **(Zhang et *al.*, 2020).**

4.4.1. Présence de champignons dans la boue activée

Les hyphes fongiques **(Figure 16)** sont le plus souvent associées aux sédiments des boues activées, mais dans des conditions normales de fonctionnement, elles ne dominent pas les communautés microbiennes **(Jenkins et *al.*, 1986).** Les eaux usées riches en matière organique constituent un milieu propice à la croissance d'un grand nombre de micro-organismes, dont certains types de champignons **(Häuslerova et *al.*, 1979).**

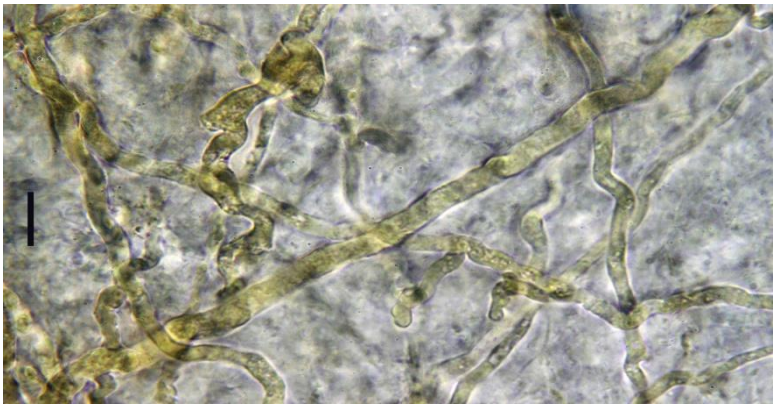


Figure 16 : Hyphes fongiques **(Site 15)**

4.5. Embranchement des protozoaires

Les protozoaires sont des organismes unicellulaires hétérotrophes vivant librement dans les milieux aquatiques. Ils sont mobiles, dépourvus de paroi cellulaire et de pigments, et peuvent vivre en symbiose.Dans les boues activées, ces protozoaires assurent la purification de l'eau traitée après consommation des bactéries libres. Les modifications et la sensibilité de ces organismes aux conditions environnementales (oxygène dissous, type de substrat, présence de toxines) constituent d'excellents bioindicateurs **(Kahim et Idabdellah, 2013).** Leur classification repose sur leur mode de locomotion : flagelles chez les flagellés, pseudopodes chez les sarcodines et cils chez les ciliés **(Canler et *al.*, 2014).**

4.5.1. Sous-embranchement des flagellés (Mastigophorea)

Les flagellés se caractérisent par leur petite taille (moins de 20 micromètres) et sont souvent difficiles à identifier, à l'exception de certains groupes comme les euglénidés. Leur identification repose sur l'observation de leur morphologie, de leur taille et de leur mode de locomotion **(Canler et *al*., 2014).**

Les petits flagellés apparaissent au début de la colonisation des boues activées par les protozoaires **(Figure 17)**. Leur présence est souvent associée aux boues fraîches, caractérisées par une mauvaise floculation, un temps de rétention court, une charge organique élevée ou une carence en oxygène **(Canler et *al*., 2014)**

Elles sont capables de résister à des conditions difficiles, telles que les milieux anaérobies ou anoxiques, ou la présence de substances toxiques pendant des périodes prolongées. Leur prolifération s'accroît lors de perturbations soudaines du système (variations de température, augmentation de la charge). Par conséquent, leur présence indique un mauvais fonctionnement de la station d'épuration : charge organique élevée, mauvaise aération, présence d'effluents en décomposition ou en fermentation, et phénomènes de sédimentation **(Canler et *al*., 2014).**

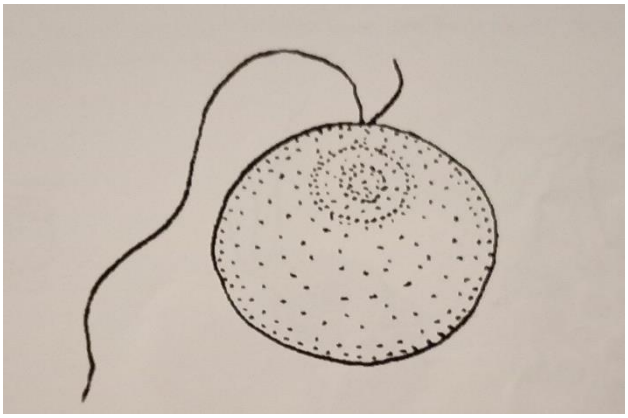


Figure 17 : Petit flagellé *Monas globosa* **(Canler et *al*., 2014)**

4.5.2. Sous-embranchement des sarcodines

Ce groupe comprend deux classes :

Actinopodes : Ces organismes sont indicateurs de faibles charges, étant rares dans les boues, seules quelques espèces sont observables **(Figure 18) (Canler et *al*., 2014).**

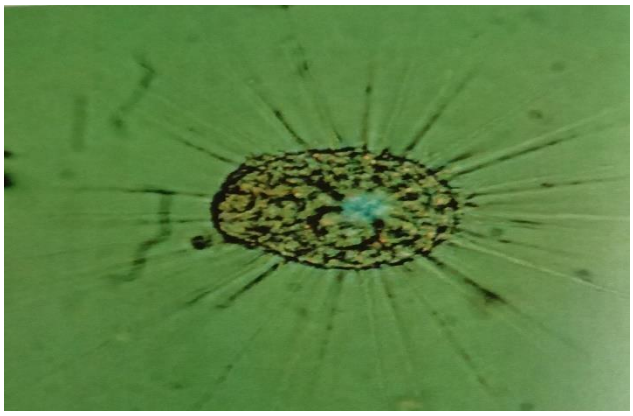


Figure 18 : Le genre *Actinophrys* **(Canler et *al*., 2014)**

Rhizopodes : Leur présence dépend d'avantage de la qualité des boues rejetées que des conditions de charge ou d'aération; ils sont largement répandus.On distingue deux sous-classes de rhizopodes : les amibes et les thécamoebiens **(Canler et *al*., 2014).**

- **Amibes**

Dans les systèmes de boues à faible charge et à longue durée de vie, elles sont rarement présentes en grand nombre. Et peuvent être observées dans un large champ de conditions.Leur présence est associée à une phase transitoire ou à un type d'effluent spécifique.L'importance des petites amibes est comparable à celle des petits flagellés, tandis que les grandes amibes sont associées à une bonne qualité de traitement **(Figure 19) (Canler et *al*., 2014).**

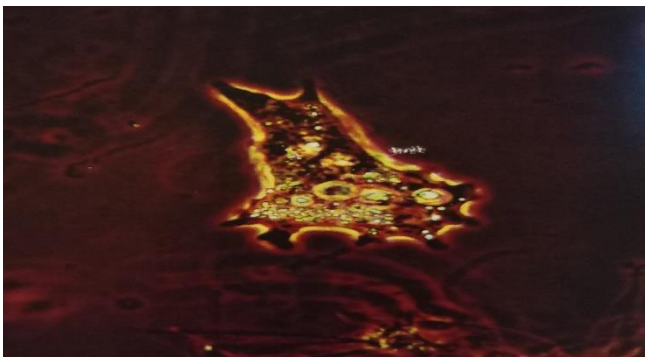


Figure 19 : *Grande amibe* **(Canler et *al*., 2014)**

- **Thécamébiens**

Ce sont des amibes hétérogènes à coquille qui vivent en eau douce, sur les plantes ou dans les particules du sol **(Dragesco, 1974).**

Leur présence indique des conditions stables, caractérisées par de très faibles charges et une longue durée de vie des boues, ce qui se traduit par des boues riches en minéraux et une bonne qualité des eaux usées **(Figure 20)**.En forte concentration, elles témoignent d'une

excellente performance de traitement et d'un processus de nitrification stable. Cependant, leur abondance peut être liée à la nature des eaux usées, notamment en présence de carbonates ou de silice **(Canler et *al*., 2014).**

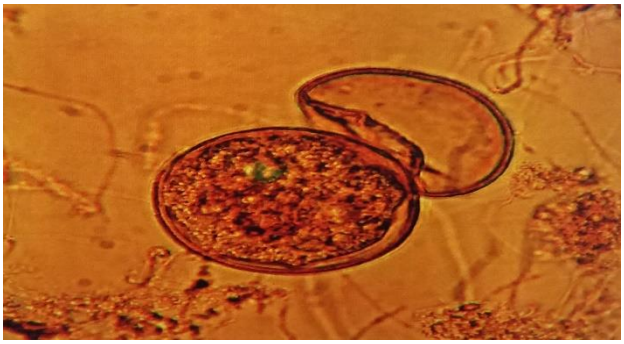


Figure 20 : Thécamébiens (*Arcella)* **(Canler et *al*., 2014)**

4.5.3. Sous-embranchement des ciliés

Dans les systèmes d'aération prolongée performants, il s'agit de la classe prédominante observée au microscope **(Canler et *al*., 2014).**Les ciliés figurent parmi les organismes les plus sensibles aux conditions environnementales. Leur diversité et leur nombre sont liés à la qualité de l'eau traitée et aux caractéristiques de fonctionnement de la station d'épuration. Les ciliés participent à la purification de l'eau interstitielle, ce qui signifie qu'il existe une relation étroite entre leur présence et la qualité de l'eau traitée **(Canler et *al*., 2014).**

Grâce à leur capacité à se nourrir de bactéries et de particules en suspension et à induire la floculation, les ciliés primaires produisent une eau traitée de haute qualité **(Ratsak et *al*., 1996).**

- **Sous-classe des holotriches**

Ils concernent les états transitoires où, s'ils sont présents en grand nombre, ils entraînent des périodes d'instabilité du système, ce qui se traduit par une baisse de performance **(Canler et *al*., 2014).**

Les grands ciliés (plus de 50 µm) sont présents en cas de surcharge(*Litonotus* et *Colpidium*) **(Figure 21)** où ils favorisent la croissance de bactéries libres qui s'en nourrissent. Les petits ciliés (moins de 50 µm, tels que *Uronema*) indiquent souvent un temps de rétention hydraulique court ou une mauvaise aération des boues **(Canler et *al*., 2014).**



Figure 21 : *Colpidium* **(Canler et *al*., 2014)**

- **Sous-classe des péritriches**

Ces ciliés se développent dans toutes les zones de charge **(Figure 22)**. Leur nombre augmente en conditions de faible charge ou après l'ajout de grandes quantités de matière organique lors d'une aération prolongée. La zone de charge peut être modifiée par des pertes de boues ou une extraction excessive **(Canler et *al*., 2014)**.

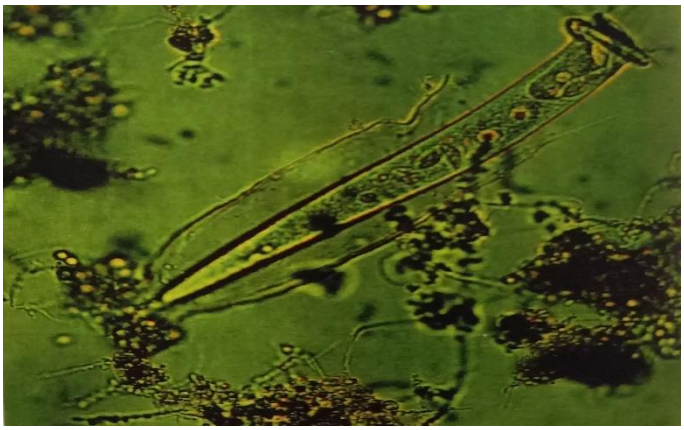


Figure 22 : Cilié péritriche *Vaginicola crystallina* **(Canler et *al*., 2014)**

Leurs cils sont répartis autour de l'entonnoir d'embouchure, et leur mouvement de rotation peut entraîner un écoulement de fluide vers celui-ci. Ils sont fixés à la masse par un pédoncule contractile **(Franck, 2002)**

- **Sous-classe des spirotriches**

Leurs cils sont situés sur une seule face du corps cellulaire. Ils se déplacent en rampant le long de ces cils pour se nourrir de bactéries présentes à la surface des flocs **(Franck, 2002).**

On distingue deux ordres :

Hétérotriches : On les trouve dans les systèmes à faible charge et à longue durée de vie des boues **(Figure 23).** Ils sont un indicateur de bonne qualité de l'eau interstitielle (la présence de nitrates est obligatoire) **(Canler et *al*., 2014).**

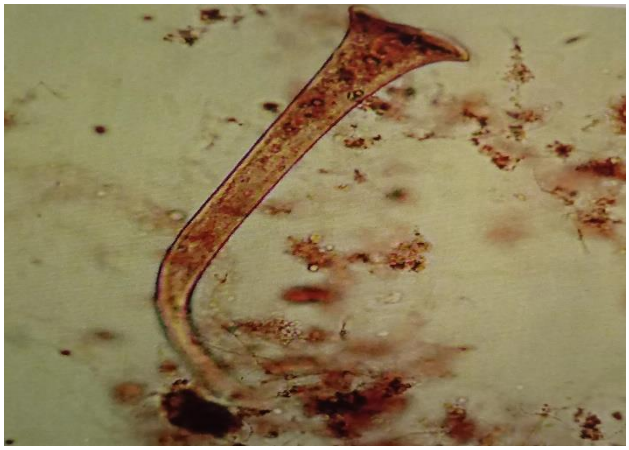


Figure 23 : Le genre *Stentor* **(Canler et *al*., 2014)**

Hypotriches : Leur présence en grand nombre est un signe de qualité du traitement. Leur croissance est inversement proportionnelle à la charge de boue.Ces organismes, appelés brouteurs, apparaissent lors des phases de stabilisation et lorsque les flocs sont bien organisés. Certains peuvent être de bons indicateurs de la qualité du traitement et sont fréquemment rencontrés dans les stations de nitrification à faible charge (longue durée de vie des boues) **(Figure 24)**. Les cils de grande taille (>100 µm) sont associés à une bonne qualité de traitement **(Canler et *al*., 2014).**



Figure 24 : Le genre *Euplotes* **(Canler et *al*., 2014)**

- **Sous-classe des suctoriens**

Ce sont des ciliés non mobiles qui peuvent adhérer à la surface grâce à des pédoncules de longueur variable.(telles que *Tokophrya, Acineta, Podophrya* **(Figure 25)** et *Sphaerophrya*).

Leur présence est relativement rare et est considérée comme un indicateur de boues naturelles. Leur croissance est liée à la qualité des eaux rejetées et peut également être observée dans les systèmes soumis à des charges polluantes à moyen et long terme. Leur croissance est associée à la densité de protozoaires dans le milieu **(Canler et *al*., 2014).**

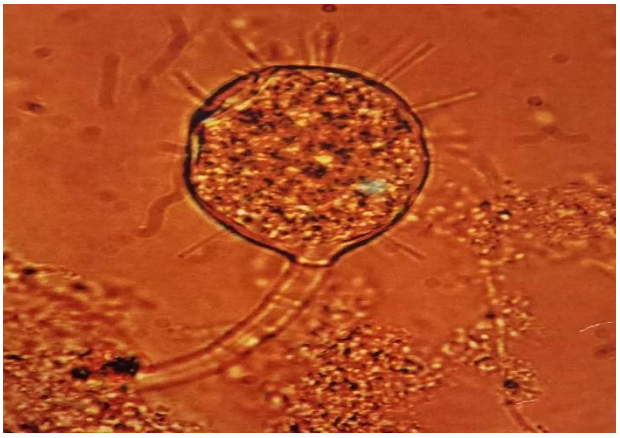


Figure 25 : Le genre *Podophrya* **(Canler et *al*., 2014)**

4.6. Embranchement des métazoaires

Les métazoaires sont des organismes pluricellulaires, plus complexes que les protozoaires et leur cycle de reproduction est plus long. Ils sont aérobies stricts, et plus sensibles aux conditions toxiques de leur environnement **(Garnier, 2005).**

La présence de ces organismes entraîne des temps de rétention des boues relativement longs (les rotifères), pour garantir de bons indicateurs de traitement, tels qu'une faible demande biochimique en oxygène (DBO_5) dans les eaux usées ou une efficacité élevée **(Canler et *al*., 2014)**

4.6.1. Sous-embranchement des rotifères

Ils représentent le groupe le plus important dans les boues activées **(Figure 26)**. Leur présence témoigne de l'efficacité d'épuration que des conditions de fonctionnement de l'installation à l'exception de l'âge de la culture nécessaire à leur reproduction.Ils peuvent être un indicateur de la disponibilité en oxygène et de la purification globale, atteignant 95 à 99 % de la charge polluante**,** ils n'apparaissent pas que dans les systèmes à activité stable **(Canler et *al*., 2014).**

Leur longueur varie de 100 à 500 micromètres **(Franck, 2002).**



Figure 26 : *Rotifères Digononta* **(Canler et *al*., 2014)**

4.6.2. Sous-embranchement des nématodes

Des métazoaires non segmentés, possèdent un corps lisse et vermiforme **(Figure 27)**, Ils sont flexibles et mesurent plus de 150 micromètres **(Franck, 2002).**

Ils se nourrissent de bactéries. Ces organismes sont résistants à la sous-aération et sont présents dans tous les types de boues aérées de longue durée. Leur présence indique que les boues sont très anciennes et n'altèrent pas le processus d'épuration **(Canler et *al*., 2014).**

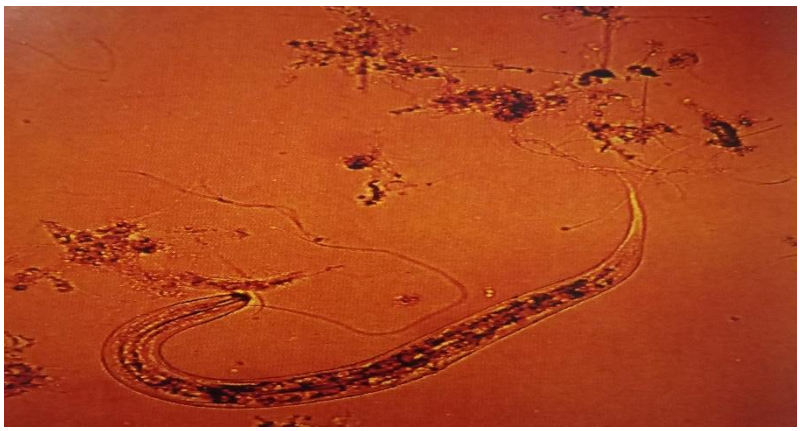


Figure 27 : Nématode **(Canler et *al.,* 2014)**

4.6.3. Sous-embranchement des gastrotriches

Ces métazoaires mesurent de 100 à 300 micromètres de long **(Figure 28)** possèdent une partie terminale dichotomique **(Da Motta, 2001).**

On les observe uniquement aux stations à faible charge et ils sont rares dans les boues activées. Ils vivent dans les sédiments vaseux et dans les débris organiques stabilisés des milieux aquatiques naturels **(Canler et *al*., 2014).**

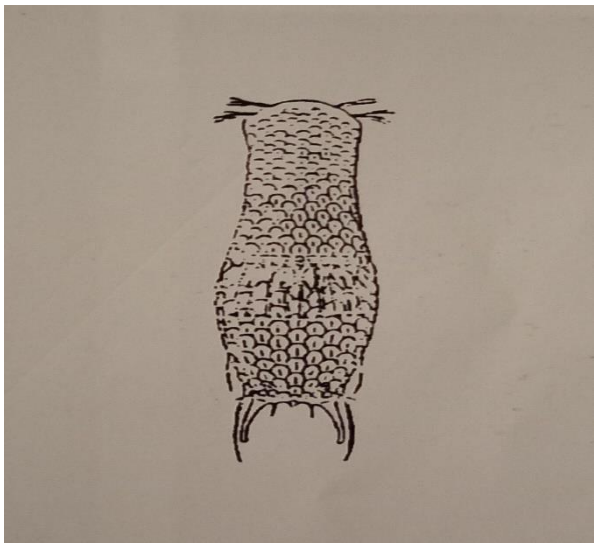


Figure 28 : Gastrotriches **(Canler et *al*., 2014)**

4.6.4. Sous-embranchement des oligochètes

Ces vers sont de forme allongée et possèdent des soies dorsales de 0, 5 à 4 millimètres de long. Ils sont rarement présents dans les boues et n'apparaissent pas aux fortes charges, ce qui indique la présence de nitrates **(Da Motta, 2001).**



Figure 29 : *Oligochètes Aelosoma* **(Canler et *al*., 2014)**

4.6.5. Sous-embranchements des tardigrades et des acariens

Ils sont rares dans les boues activées **(Figure 30)**. On l'observe dans les installations à faible charge, avec des durées de vie des boues très longues (plus de 25 à 30 jours) en phase de stabilisation, avec une qualité d'eau rejetée qui présente une diminution significative de la demande en DBO5 et en $N\text{-}NH_4^+$ (nitrification significative) **(Canler et *al*., 2014).**

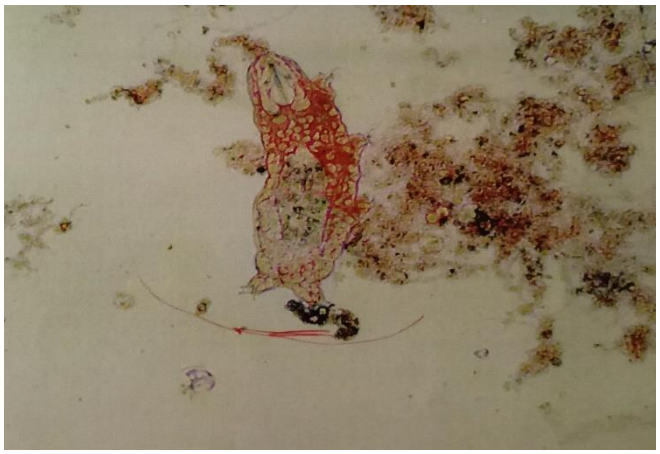


Figure 30 : Tardigrade **(Canler et *al*., 2014)**

5. Importance de l'identification des protozoaires et des métazoaires présents dans la boue activée

L'identification des protozoaires et des organismes multicellulaires dans les boues activées est très importante pour évaluer la qualité du traitement biologique dans les stations d'épuration et interpréter les conditions environnementales. Ces micro-organismes constituent des bio-indicateurs de la qualité du traitement de l'eau et contribuent à une meilleure floculation par la libération de certains produits. Ainsi, les protozoaires jouent un rôle clé dans la filtration de l'eau interstitielle par la consommation des bactéries libres. Les caractéristiques morphologiques permettent également d'évaluer le niveau de filtration du système; par exemple, des tiges courtes indiquent des environnements à forte concentration de bactéries libres et donc des niveaux de filtration relativement faibles, tandis que des tiges longues suggèrent des environnements à filtration élevée. Par ailleurs, certaines espèces peuvent adapter avec des conditions difficiles, peuvent même se développer dans des environnements pauvres en oxygène et permettant d'évaluer les conditions d'oxygénation et l'efficacité du processus de traitement biologique **(Canler et *al*., 2014)..**

Partie II :

Partie expérimentale

Chapitre IV :

Matériel et Méthodes

L'objectif de ce travail est de déterminer les protozoaires et les métazoaires vivant dans la boue activée de la station d'épuration des eaux usées Zeghaia Oued Endja en identifiant les espèces présentes durant les mois de mars, avril et mai après des observations microscopiques, cette étude est accompagnés par des analyses de quelques paramètres physico-chimiques des eaux usées dans le laboratoire de la station pour comprendre la relation entre ces paramètres et le développement des protozoaires et des métazoaires.

1. Présentation de la STEP de Zeghaia Oued Endja

La station d'épuration de Zeghaia Oued Endja est conçue pour traiter les eaux usées urbaines d'une population équivalente à 38.000 E.H. et 57.000 E.H. respectivement aux horizons de 2030. Cette proposition est basée sur les mêmes principes que ceux définis dans l'appel d'offres rédigé par l'Office national de l'assainissement (ONA).

La STEP comprend une série d'unités de traitement que les eaux usées traversent successivement, chacune étant conçue pour éliminer des types spécifiques de polluants, elle comporte une ligne eau, une ligne boue, une ligne autres déchets, un traitement des odeurs et les utilitaires nécessaires au bon fonctionnement de l'ensemble (production d'eau de service, air de service, eaux de retour…) **(ONA, 2021).**

1.1. Localisation géographique de la STEP

La station de Zeghaia Oued Endja est située sur le bassin versant de barrage de Beni Haroun **(Figure 31)**. Son objectif est de protéger les eaux du barrage de Beni Haroun. Elle est mise en service en décembre 2018. La STEP rejette les eaux épurées dans oued El kebir qui alimente le barrage de Beni Haroun. Les eaux usées des communes de Zeghaia et de Oued Endja proviennent des rejets domestiques issus des usages quotidiens de la population, avec des contributions limitées des petites activités industrielles et agricoles locales. Ce sont des eaux usées urbaines, caractérisées par une charge organique à prédominance domestique **(STEP de Zeghaia Oued Endja).**



Figure 31 : Localisation de la STEP de Zeghaia Oued Endja **(Google Earth, 2026)**

1.2. Données techniques de la STEP

Le tableau ci-dessous **(Tableau 2)** présente les données techniques de la station d'épuration de Zeghaia Oued Endja.

Tableau 2 : Données techniques de la STEP de Zeghaia Oued Endja **(STEP de Zeghaia Oued Endja).**

Wilaya	Mila
Zone	Constantine
Unité	Mila
Nom (STEP et Lagune)	STEP Zeghaia Oued Endja
Localisation (commune)	Oued Endja
Date de mise en service	02 décembre 2018
Procédé d'épuration	Boue activée à faible charge
Capacité actuelle et à l'horizon E /H	38000 E/H et 57000 E/H en 2030
Volume nominal actuelle (m^3/j)	4500 m^3/j

Volume réel entrant à la STEP (m^3/j)	2340 m^3/j
Taux de collecte	52%
Volume annuel traité en m^3	743652 m^3
Rendement de la STEP	50%
Milieu récepteur des eaux sortant de la STEP	Oued El kebir
État de STEP	En marche
Nature des eaux brutes	Urbaines
Superficie de STEP (Hectares)	4 hectares
Communes raccordées à la STEP	Zeghaia, Oued Endja
Dispositif d'assainissement de la ville	Unitaire

1.3. Rôle principal de la STEP

La station d'épuration de Zeghaia Oued Endja joue un rôle très important à travers les fonctions suivantes :

- Élimination de la pollution organique et réduction de la pollution liée aux nutriments (azote et phosphore).
- Production d'une boue déshydratée avec une siccité final en 40% et Valorisation des boues produites dans une logique d'économie circulaire.
- Protection du barrage de Beni Haroun contre les pollutions organiques et chimiques.
- Préservation de la santé publique et des écosystèmes aquatiques **(ONA, 2021).**

1.4. Équipements de la STEP

La station comprendre les équipements suivants **(Figure 32)** :

- Un ouvrage de réception

- Un limiteur de débit
- Un dégrillage fin
- Un dessablage –déshuilage
- Un traitement biologique par boues activées à faible charge.
- Un traitement des boues consiste en une pré-déshydratation et déshydratation.
- Un traitement des odeurs pour la zone prétraitement.
- Un traitement des odeurs pour la zone boues.
- Les utilitaires indispensables au bon fonctionnement de l'ensemble (eaux de retour, eau de service, air de service…) **(STEP Zeghaia Oued Endja).**



Figure 32 : Représentation de la STEP et ses équipements **(Photo personnelle, 2026).**

1.5. Les étapes de traitement de la STEP

Dans la station d'épuration de Zeghaia Oued Endja, le procédé de traitement des eaux usées comprend plusieurs étapes : prétraitement, traitement secondaire (biologique) et traitement des boues.

1.5.1. Prétraitement

L'effluent arrive en tête de station par pompage et subit un prétraitement (dégrillage fin et dessablage –déshuilage).

1.5.1.1. Dégrillage fin

Les eaux usées sont déguillées à l'aide de tamis d'une maille de 10 mm.

Les refus sont repris au moyen d'une vis compacteurs. Ceux -ci sont déposés dans un conteneur d'une capacité de 10 m³ **(Figure 33) (STEP Zeghaia Oued Endja).**



Figure 33 : Dégrilleurs fins **(photo personnelle, 2026).**

- **Chambre de limitation de débit**

La station est équipée d'une limitation de débit vers les unités traitement, située à l'aval du dégrillage fin.

Cette limitation de débit est réalisée par un module à masques équipé de vannettes **(STEP Zeghaia Oued Endja).**

1.5.1.2. Dessablage –déshuilage

Il est réalisé dans deux ouvrages parallèles et est du type Dessableur–déshuileur aéré rectangulaire à poche **(Figure 34)**. Ce dernier est capable d'éliminer de 90% de sable à 200µm et de 100% de sable de plus à 150µm. Les flottants sont collectés dans deux chambres accolées aux des sableurs. Ils sont éliminés vers le réseau d'égouttage procès alors que les matières flottantes sont reprises par camion vidangeur **(STEP Zeghaia Oued Endja)**



Figure 34 : Installation de dessableur déshuileur **(Photo personnelle, 2026).**

- **Chambre de répartition**

Elle est aménagée en sortie des dessableurs-déshuileurs et assure la répartition des eaux vers les deux lignes de traitement biologique et trois lignes pour le stade 2030.Cette chambre reçoit les eaux de retour de la déshydratation **(STEP Zeghaia Oued Endja).**

1.5.2. Traitement biologique

Le traitement biologique permet de réduire les différents types de pollution qui sont trouvés dans l'eau. Il s'attaque à la pollution soluble que la pollution en matières en suspension (MES). Il élimine la pollution carbonée, azotée et phosphorée par biosorption.

Le principe fondamental de traitement par boues activées est de transformer la pollution par un ensemble complexe de réactions biologiques qui transforment la pollution en eau, dioxyde de carbone, azote gazeux, boues biologiques (résultant de la croissance microbienne) et autres sous-produits. Ces réactions complexes se réalisent dans le bassin biologique **(Figure 35)**. Il est ensuite séparer la boue produite de l'eau et réinjecter en tête cette boue de traitement pour ensemencer en continu le traitement biologique pour arriver à un taux élevé de micro-organismes assurant une taille raisonnable des ouvrages. Cette opération a lieu lors de la clarification **(ONA, 2021).**



Figure 35 : Les bassins biologiques **(Photo personnelle, 2026)**

Le traitement par boues activées classique comporte :

➢ Un bassin biologique constitué d'une partie anaérobie (sélecteur/biodéphosphation), d'une partie anoxique (réduction des nitrates et oxydation de la pollution organique) et d'une partie aérobie (oxydation de la matière organique et de l'azote organique et minéral),

➢ Un clarificateur assurant la séparation des eaux épurées de la boue biologique,

➢ Une station de pompage pour recirculer les boues biologiques en tête du traitement biologique et pour extraire les boues en excès pour les diriger vers le traitement des boues **(ONA, 2021).**

1.5.2.1. La technique SBR (Sequencing Batch Reactor)

Cette station comporte la technique du SBR (Sequencing Batch Reactor)améliorée proposée par WATERLEAU GROUP consistant en plusieurs réacteurs biologiques combinés assurant une alimentation continue en effluent brut et une décharge continue de l'effluent épuré. Cet agencement hybride constitue le cœur du Lucas@-system. Ce dernier se conjugue en un ensemble d'un, deux, trois, voire quatre bassins biologiques travaillant chacun sur base du principe du SBR.Le principe de base est un traitement par boues activées réalisé dans des réacteurs multiples.C'est un procédé cyclique combinant tous les avantages d'un procédé continu comme le traitement par boues activées classiques combinés avec ceux de réacteurs discontinus (SBR) contrôlés sur une base de temps **(ONA, 2021).**

Comme le traitement classique, il travaille à niveau d'eau constant dans les différents compartiments. Dans le procédés par batch (SBR), chacun des réacteurs travaille suivant un cycle basé sur le temps (Control-in-time) **(ONA, 2021).**

Le cycle présente des phases :

➢ De remplissage, de repos et de sédimentation pour les deux bassins extérieurs,

➢ D'aération, d'anoxie et d'anaérobiose pour les bassins extérieurs, uniquement d'anoxie et d'aération pour le bassin central **(ONA, 2021).**

Le fonctionnement du procédé comporte un cycle comportant deux phases principales et deux phases intermédiaires. Ces dernières, de courtes durées sont intercalées entre les phases principales.Les différentes fonctions remplies par les différentes phases dans les différents bassins sont reprises dans le tableau matriciel donné plus avant.

Les principales phases du procédé sont :

➢ Le remplissage,

➢ L'élimination de la pollution (carbone, azote, phosphore),

➢ La décantation **(ONA, 2021).**

1.5.3. Clarification

Il existe deux clarificateurs avec une section minimum unitaire de 400 m² et une vitesse de clarification correspondante à 0.59 m /H **(STEP Zeghaia Oued Endja).**

1.5.4. Traitement des boues

Le traitement des boues comporte une pré-déshydratation des boues sur des tables d'égouttage et une déshydratation sur lit de séchage jusqu'à 20% de siccité **(STEP Zeghaia Oued Endja).**

1.5.4.1. Pré-déshydratation - déshydratation des boues secondaires

La ligne eau produit un seul type de boues dites secondaires issues du traitement biologique. Ces boues contiennent énormément d'eau, la première étape de traitement est la concentration de ces boues secondaires avant de les diriger vers la déshydratation **(Figure 36)**. La durée de fonctionnement hebdomadaire est de 10 h/j à raison de 7j/semaine. Le local de déshydratation et le local à conteneurs sont ventilés et sont raccordés à une unité de désodorisation par filtration sur charbon actif **(STEP Zeghaia Oued Endja).**



Figure 36 : La pré-déshydratation et déshydratation des boues **(Photo personnelle, 2026).**

1.5.4.2. Lit de séchage de secours

La quantité journalière de boues en excès en période estivale : 2.194 Kg /j, l'autonomie est de 6 jours, la charge massique typique est de 100 kg/m², la surface nécessaire : 132m² avec un seul lit de séchage **(Figure 37).** La surface unitaire d'un lit est 144m² **(STEP Zeghaia Oued Endja).**



Figure 37 : Lit de séchage **(Photo personnelle, 2026)**

1.5.4.3. Séchage solaire

Le séchage solaire des boues déshydratées est obtenu dans une serre **(Figure 38)** qui est régulièrement labourée par un sanglier électrique et équipé d'un ensemble de ventilation et extraction. Les opérations de séchage solaire sont automatisées pour le retournement de la couche de boues et la ventilation de la zone de traitement, les boues séchées présentent une siccité de 80%. La fonction du séchoir solaire est automatique. Toutes les fonctions (brassage d'air, extraction d'air, brassage des boues) sont surveillées, mises en marche et arrêtées par le contrôle central du séchoir **(STEP Zeghaia Oued Endja).**



Figure 38 : La serre de séchage des boues déshydratées **(Photo personnelle, 2026)**

1.5.4.4. Stockage des boues

Après le séchage solaire, les boues séchées sont stockées dans des serres **(Figure 39)** jusqu'à l'élimination qui se fait par digestion (valorisation thermique), par compostage et épandage (valorisation agricole), par oxydation thermique et par incinération. Enfin les boues peuvent être mises en décharge contrôlée **(STEP Zeghaia Oued Endja).**



Figure 39 : Stockage des boues séchées **(photo personnelle, 2026).**

2. Les analyses physico-chimiques de l'eau

Il s'agit d'un ensemble de méthodes et de techniques utilisées pour évaluer la qualité de l'eau en mesurant divers paramètres physico-chimiques. Elles fournissent des informations essentielles sur les caractéristiques du milieu aquatique, le degré de pollution et l'efficacité des procédés de traitement.

2.1. Les analyses physiques réalisées au laboratoire de la STEP

2.1.1. Température (T°C), Potentiel d'Hydrogène (pH), Conductivité (CE) et Oxygène dissous

- **Principe**

Le principe de ce procédé repose sur la mesure directe des paramètres physico-chimiques de l'eau à l'aide d'un pH-mètre multi-mesure et un Oxymètre équipées de capteurs électrochimiques **(Rodier et *al.*, 2009).**

- **Mode opératoire**

Deux grands béchers propres, l'un contenant un échantillon d'eau brute et l'autre un échantillon d'eau traitée. Chaque bécher est rempli aux deux tiers de sa capacité afin de garantir l'immersion complète des sondes et l'obtention de mesures précises. Les paramètres physico-chimiques sont mesurés à l'aide d'un Oxymètre **(Figure 40)** et un pH-mètre à multiple mesures **(Figure 41)** équipées de sondes appropriées. Les sondes sont entièrement immergées dans chaque échantillon, en commençant par l'eau brute puis l'eau traitée, afin d'éviter toute contamination croisée. On laisse ensuite les appareils reposer quelques instants pour permettre aux valeurs de se stabiliser avant de les relever et de les enregistrer **(Rodier et *al.*, 2009).**

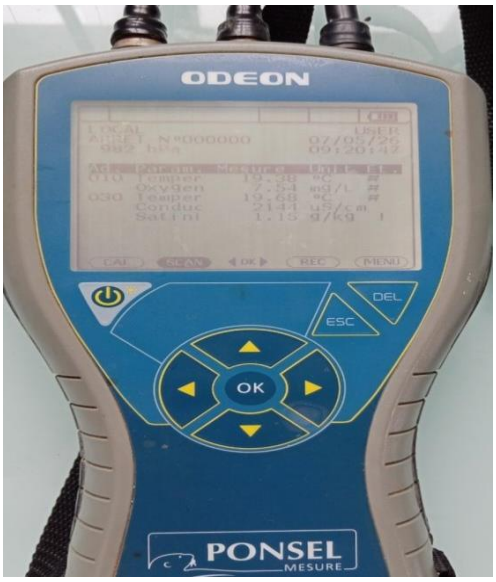


Figure 40 : Oxymètre **(Photo personnelle, 2026)**



Figure 41 : pH-mètre à multiple mesures **(Photo personnelle, 2026)**

2.1.2. Dosage des matières en suspension (MES) Par filtration

- **Principe**

La méthode repose sur la filtration d'un volume précis de l'échantillon afin de retenir les particules solides sur le filtre. Ce dernier est ensuite séché à l'étuve à 105 °C pendant deux heures pour éliminer toute trace d'eau. Après refroidissement à l'étuve, le filtre est pesé jusqu'à obtention d'une masse constante. La différence de masse avant et après filtration correspond à la quantité de matières en suspension. Pour les eaux faiblement chargées en matières en suspension, la filtration est réalisée à l'aide de filtres adaptés. Pour les eaux fortement chargées en matières en suspension, les échantillons sont placés directement dans des capsules de pesée **(Rodier et *al.*, 2009).**

- **Mode opératoire**

Après rinçage à l'eau distillée, les filtres ont été placés dans une étuve pour sécher et éliminer toute trace d'humidité. Ils ont ensuite été pesés à l'aide d'une balance de précision. La masse initiale du filtre utilisé pour l'eau brute était de 0, 0940 g, tandis que celle du filtre utilisé pour l'eau traitée était de 0, 0939 g. Les filtres ont ensuite été conservés dans un dessiccateur **(Figure 42)** afin d'éviter l'absorption d'humidité de l'air avant l'analyse. La filtration a été réalisée à l'aide de l'ensemble de filtration **(Figure 43)**. Le filtre a d'abord été placé sur un support, puis recouvert d'un entonnoir filtrant (tige). L'ensemble a été solidement fixé à l'aide d'une pince pour garantir une étanchéité parfaite. Après homogénéisation de l'échantillon, 200

mL d'eau traitée ont été introduits dans le système et la pompe à vide a été mise en marche pour démarrer la filtration. Les parois de l'entonnoir ont ensuite été rincées à l'eau distillée afin d'éliminer les particules et ions résiduels. La même procédure a ensuite été appliquée à un échantillon de 50 mL d'eau brute.Une fois la filtration terminée, les filtres contenant les matières en suspension ont été placés dans un four à 550°c pendant deux heures pour sécher complètement avant d'être pesés une dernière fois afin de déterminer le pourcentage de matières en suspension **(Rodier et *al.*, 2009).**

- **Présentation des résultats**

La concentration en matières en suspension (MES) est calculée à l'aide de la formule suivante :

$MES\ (mg/L) = (P_2 - P_1) \times 10\ 000$

Où :

• P_1 : Masse du filtre avant filtration

• P_2 : Masse du filtre après filtration **(Rodier et *al.*, 2009).**



Figure 42 : Un dessiccateur **(Photo personnelle**, **2026**)



Figure 43 : Ensemble de filtration **(Photo personnelle**, **2026**)

2.2. Les analyses chimiques réalisés au laboratoire de la STEP

2.2.1. Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO)

- **Principe**

La demande chimique en oxygène représente la quantité d'oxygène nécessaire à l'oxydation des composés organiques présents dans l'eau.Certains composés organiques présents dans l'eau sont oxydés par un excès de dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) en milieu acide, en présence de sulfate d'argent (Ag_2SO_4) (catalyseur) et de sulfate mercurique ($HgSO_4$)(qui inhibe l'action des ions chlorure Cl^-).L'excès de dichromate de potassium est titré par le sulfate de fer et d'ammonium, $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ **(Rodier et *al.*, 2009).**

- **Mode opératoire**

Tout d'abord, les trois tubes du réacteur de DCO ont été rincés à l'eau distillée, puis retournés et laissés sécher afin d'éviter toute contamination susceptible d'affecter la précision des résultats. Ensuite, ces tubes ont été préparés pour l'analyse : un pour l'eau brute, un pour l'eau traitée et un tube témoin (vide). À l'aide d'une pipette graduée, 10 mL d'eau distillée ont été ajoutés au tube témoin, suivis de 10 mL de chaque échantillon homogénéisé dans son tube respectif. Quatre billes de caoutchouc ont ensuite été ajoutées dans chaque tube pour minimiser les pertes de chaleur et assurer une ébullition uniforme pendant le chauffage **(Rodier et *al.*, 2009).**

Du sulfate mercurique ($HgSO_4$) a été ajouté aux différents tubes après pesée (0, 4 g pour l'eau brute, 0, 2 g pour l'eau traitée et 0, 2 g pour le tube témoin). Ce réactif empêche les interférences des ions chlorure, qui pourraient entraîner des erreurs dans la mesure de la DCO**.** Ensuite, 10 mL de dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) ont été ajoutés à chaque tube afin d'agir comme un oxydant puissant capable d'oxyder la matière organique de l'échantillon. Puis, 15 mL d'acide sulfurique contenant du sulfate d'argent ont été ajoutés aux tubes. Ceci crée un milieu fortement acide, propice à l'oxydation, tandis que le sulfate d'argent agit comme catalyseur, facilitant l'oxydation de certaines matières organiques difficiles à décomposer. Des réfrigérants à reflux ont été placés sur les tubes pour empêcher les vapeurs d'eau de s'échapper pendant le chauffage, et le mélange a été agité vigoureusement **(Rodier et *al.*, 2009).**

Enfin, les tubes ont été placés dans un réacteur DCO à 155 °C pendant 128 minutes **(Figure 44)** afin de permettre la digestion complète de la matière organique. Après refroidissement, la valeur de la DCO a été déterminée par titrage à l'aide d'une solution de sulfate de fer(II) et d'ammonium 0, 25 M et d'un titrant. Cette solution a permis d'identifier

l'excès de dichromate de potassium n'ayant pas réagi avec la matière organique de l'échantillon. On l'a ajouté progressivement jusqu'à ce que le mélange réactionnel passe du bleu-vert au rouge brique (ou brun), indiquant le point d'équivalence du titrage. Le volume de solution de titrage consommé a ensuite été enregistré afin de calculer la demande chimique en oxygène (DCO) des différents échantillons analysés. Plus la valeur obtenue était proche de 250 mg/L, meilleure était la qualité de l'eau analysée **(Rodier et *al.*, 2009).**



Figure 44 : Un digesteur de DCO **(Photo personnelle, 2026)**

- **Relation mathématique**

DCO = (Vb – Ve) / (P.E.) × 8000 × T

Où :

•Ve : Volume de sulfate ferreux et ammoniacal utilisé dans l'échantillon (ml)

•Vb : Volume de la solution de référence (ml)

•T : Concentration de la solution de sulfate ferreux et ammoniacal

•P.E. : Volume de l'échantillon à analyser (ml) **(Rodier et *al.*, 2009).**

2.2.2. Détermination de la demande biochimique en oxygène pendant 5 jours (DBO5)

- **Principe**

Un échantillon d'eau est placé dans un incubateur à température contrôlée en présence d'air. Les microorganismes consomment l'oxygène dissous, qui est continuellement remplacé par l'oxygène d'air. Le dioxyde de carbone (CO_2) ainsi produit est consommé par l'hydroxyde de potassium. Cette consommation d'oxygène entraîne une chute de pression, détectée par une élévation du niveau de mercure **(Rodier et *al.*, 2009).**

- **Mode opératoire**

Des échantillons d'eau brute et traitée sont préparés dans des flacons spéciaux afin de mesurer la quantité d'oxygène consommée par les micro-organismes sur une période de 5 jours. Ensuite, 164 mL d'eau brute ont été prélevés et introduits dans un OxiTop contenant un barreau magnétique. Pour l'échantillon d'eau traitée, 432 mL d'eau ont été ajoutés dans un autre flacon.Les réactifs nécessaires à chaque échantillon ont ensuite été ajoutés. 5 gouttes d'inhibiteur de nitrification et 0, 4 mL d'hydroxyde de potassium (KOH) ont été ajoutés au flacon contenant l'eau brute, tandis que 10 gouttes d'inhibiteur de nitrification et 0, 4 mL de KOH ont été ajoutés au flacon contenant l'eau traitée. L'inhibiteur de nitrification est pour empêcher les bactéries nitrifiantes d'oxyder l'azote ammoniacal, ce qui consomme de l'oxygène, et de mesurer la demande biochimique en oxygène résultant uniquement de la décomposition de la matière organique carbonée **(Rodier et *al*., 2009).**

Les deux flacons ont été soigneusement mélangés afin d'assurer l'homogénéité du mélange. Le KOH ajouté contribue à libérer et à absorber le dioxyde de carbone (CO_2) produit pendant la réaction, évitant ainsi une surpression à l'intérieur des flacons et un risque d'explosion. Après la préparation des échantillons, les têtes de mesure d'Oxitop respirométrique ont été fixées aux flacons et la lecture initiale a été remise à zéro en appuyant simultanément sur les deux boutons. Les échantillons ont ensuite été incubés pendant 5 jours dans des conditions appropriées **(Figure 45)**. À la fin de la période d'incubation, les résultats de l'échantillon d'eau traitée ont été lus directement, tandis que la valeur de l'eau brute a été multipliée par un facteur de correction de 10 pour obtenir la valeur finale de DBO5 **(Rodier et *al*., 2009).**



Figure 45 : Incubateur de la DBO5 contient les flacons des échantillons avec système de mesure OxiTop **(Photo personnelle, 2026)**

2.2.3. Calcul de rapport de biodégradabilité (DCO /DBO5)

Le rapport DCO/DBO5, ou rapport de biodégradabilité, permet de connaître la possibilité de biodégradation d'un effluent. Dans le cas d'une eau urbaine qui contient une majorité de composés organiques biodégradables, le rapport DCO/DBO5 est généralement compris entre 1, 5 et 2, 5. Pour les effluents industriels, qui peuvent contenir une fraction notable de composés non biodégradables, les règles suivantes étant généralement retenues :

➢ DCO/DBO5 < 3 : effluent facilement biodégradable

➢ 3 < DCO/DBO5 < 5 : effluent moyennement biodégradable

➢ DCO/DBO5 > 5 : effluent difficilement biodégradable, voire non bio dégradable **(Rodier et *al*., 2009).**

2.2.4. Détermination des nitrates (NO_3^-)

- **Principe**

La détection des nitrates repose sur la réaction entre les ions nitrates et le salicylate de sodium. En présence de ce réactif, un composé jaune, le paranitrosalicylate de sodium, se forme. L'intensité de cette coloration est mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre **(Rodier et *al*., 2009)**

- **Mode opératoire**

10 mL de l'échantillon à analyser est introduit dans un récipient approprié. ensuite deux à trois gouttes de solution d'hydroxyde de sodium à 30 % sont ajoutés, puis 1 mL de salicylate de sodium.

Le mélange est placé dans un bain-marie ou une étuve à une température comprise entre 75 et 88 °C pour évaporation, sans surchauffe prolongée. Après refroidissement, le mélange restant est repris avec 2 mL d'acide sulfurique concentré et laissé au repos pendant 10 minutes.

Ensuite, 15 mL d'eau distillée et 15 mL de tartrate de sodium et de potassium sont ajoutés au mélange. La solution obtenue est analysée par spectrophotométrie UV-visible à une longueur d'onde de 420 nm **(Rodier et *al*., 2009)**

- **Présentation des résultats**

La concentration est lue directement en mg/L à 420 nm. La valeur obtenue est multipliée par 4, 43 pour exprimer le résultat final en nitrates (NO_3^-) **(Rodier et *al*., 2009).**

2.2.5. Détermination des nitrites (NO_2^-)

- **Principe**

Le dosage des nitrites repose sur une réaction chimique entre les ions nitrite et le sulfanilamide, formant un composé diazoïque. Ce composé réagit avec le dichlorhydrate de N-(1-naphtyl) éthylènediamine pour produire une coloration rose. L'intensité de cette coloration est directement proportionnelle à la concentration en nitrites et est mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible à une longueur d'onde de 543 nm **(Rodier et *al*., 2009).**

- **Courbe de titrage**

Pour obtenir une courbe de titrage à partir d'une solution à 1 mg/L, différentes dilutions sont préparées avec de l'eau distillée, et 1 mL de réactif mixte est ajouté à chaque solution. Après 10 minutes, les concentrations en nitrites suivantes sont obtenues 0; 0, 02; 0, 04; 0, 1; 0, 4 et 0, 8 mg/L, respectivement **(Rodier et *al*., 2009).**

- **Mode opératoire**

50 mL de l'échantillon à analyser sont placés dans un récipient approprié, puis 1 mL du réactif est ajouté. Après environ 10 minutes, une coloration rose apparaît, indiquant la présence de nitrites. L'absorbance de la solution est ensuite mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible à une longueur d'onde de 543 nm **(Rodier et *al*., 2009).**

- **Présentation des résultats**

La concentration en nitrites est obtenue directement à partir de la courbe de titrage et exprimée en mg/L **(Rodier et *al*., 2009).**

2.2.6. Détermination de l'azote ammoniacal (NH_4^+)

- **Principe**

Le dosage des ions ammonium (NH_4^+) repose sur la spectrophotométrie, qui met en évidence la formation d'un composé coloré. Les ions ammoniums réagissent avec les salicylates et les hypochlorites en présence de nitroprussiate de sodium pour former une coloration dont l'intensité est mesurée par spectrophotométrie UV-visible **(Figure 46) (Rodier et *al.*, 2009).**

- **Mode opératoire**

40 mL de l'échantillon d'eau à analyser sont prélevés, le réactif colorant est ajouté sous agitation, ensuite le réactif 2 est ajouté. L'échantillon est reposé pendant 1 heure et 30 minutes pour permettre le développement de la coloration. L'apparition d'une coloration vert pâle indique la présence d'ions ammonium dans l'échantillon **(Rodier et *al.*, 2009).**

- **Affichage des résultats**

La concentration en ions ammonium est déterminée par la lecture de l'absorbance à 655 nm et les résultats sont affichés directement en mg/L à partir de la courbe d'étalonnage **(Rodier et *al.*, 2009).**



Figure 46 : Spectrophotomètre UV-visible **(Photo personnelle, 2026)**

2.2.7. Taux d'abattement % (Efficacité de l'élimination %)

L'efficacité de l'élimination des polluants, ou abattement, a été exprimée en pourcentage comme suit :

Taux d'abattement % = Efficacité de l'élimination % = Pp - Pa/Pp x 100

Pp : la concentration de polluant avant traitement,

Pa : la concentration de polluant après traitement **(Maktoof et AL-Enazi, 2020).**

3. Identification des protozoaires et des métazoaires présents dans la boue activée

3.1. Prélèvement

Les prélèvements des échantillons de la boue activée destinées à une analyse microbiologique, ont été fait dans des flacons en verre borosilicatés de 500 ml stérilisés en respectant un protocole de prélèvement précis afin d'éviter toute contamination accidentelle **(Rodier et *al.*, 2009).** Le prélèvement a été réalisé dans le bassin biologique après 10 à 15 minutes d'agitation du bassin, à une profondeur de 0, 5 m à 1 m, à l'aide d'une pêche **(Figure 47).**



Figure 47 : Prélèvement de la boue activée dans la STEP **(photo personnelle, 2026).**

3.2. Observation macroscopique des boues activées

L'observation macroscopique a été réalisée avant la description des protozoaires et de métazoaires présentes dans la boue activée. Elle s'appuie sur une fiche d'analyse regroupant toutes les caractéristiques de l'échantillon tels que la couleur (claire, foncée ou noire), l'odeur, la quantité de boue, la présence des matières flottantes, la qualité du surnageant ainsi que le comportement des flocs durant la phase de décantation **(Canler et *al.*, 2014).**

3.3. Observation microscopique des boues activées

L'observation au microscope optique des différentes composantes de la boue (liquide interstitiel, floc bactérien et microfaune) peut confirmer un certain nombre d'éléments évoqués précédemment lors de l'observation macroscopique **(Canler et *al.*, 2014).** Cette dernière est indispensable pour la compréhension du fonctionnement de la STEP.

L'observation microscopique se fait en deux étapes :

- La première étape correspond à une observation à l'état frais.
- La deuxième étape c'est une observation après coloration.

L'observation microscopique a été réalisée sous un microscope optique (Paralux) en utilisant les grossissements 100X et 400X **(Figure 48).**



Figure 48 : Microscope optique de la STEP **(Photo personnelle, 2026)**

3.3.1. Observation à l'état frais

L'observation microscopique à l'état frais consiste à prélever une goutte de boue à l'aide d'une pipette pasteur, dont l'extrémité du cône est découpée afin de l'élargir et ainsi ne pas sélectionner les éléments à observer selon leur taille. L'observation se fait en contraste de phase, les organites intracellulaires et les contours des individus sont ainsi plus visibles. Il est recommandé d'observer au minimum deux lames et de procéder toujours de la même méthode de lecture d'une lame : commencer en haut à gauche puis déplacer à droite, descendre et lire de droite à gauche et ainsi de suite jusqu'à arriver en bas de la lame, pour balayer toute la surface. La mise au point se fait à l'objectif 10X qui permet de caractériser le structure, la forme et la taille des flocs, aussi la composition du liquide interstitiel (bactéries libres, bactéries filamenteuses, spirochètes, débris) ainsi que la microfaune (les espèces présentes, leur diversité et leur abondance et l'état physiologique). L'objectif 40X est utilisé pour l'identification précise des espèces présentes **(Rejsek, 2002)**.

3.3.2. Observation après coloration

3.3.2.1. Coloration au lugol

Le lugol est utilisé comme un colorant fixateur, il aide dans l'identification des formes kystiques des protozoaires, il permet à une bonne visualisation de certains éléments d'identification comme les vacuoles, les noyaux et les carysomes **(Nedelec, 2008).**

3.3.2.2. Coloration avec le bleu de méthylène

Le bleu de méthylène est un colorant synthétique aux multiples applications dans plusieurs domaines (la médecine, la chimie et l'industrie), cette substance a d'abord été utilisée dans l'industrie textile, puis en bactériologie et en microscopie **(Van den Heuvel, 2025).**

Ce colorant aide à donner une meilleure visualisation des cellules vivantes tels que les protozoaires, surtout le cytoplasme et parfois les vacuoles **(Ray, 2018).**

3.3.2.3. Coloration avec le vert de méthyle

Le vert de méthyle est un colorant létal. Il fixe et tue les microorganismes. Il colore les noyaux des protozoaires **(Crabbé et Lecomte, 2014)**

3.3.2.4. Coloration avec le rouge neutre

Le rouge neutre est un colorant vital, il ne tue pas les microorganismes. Ceci permet de mettre en évidence les vacuoles digestives et les inclusions cytoplasmiques de certains microorganismes **(Cavalla, 2014)**.

3.4. Clé d'identification des protozoaires et des métazoaires

L'identification des protozoaires et des métazoaires a été faite à l'aide des clés d'identification de Canler et *al*., 2014 **(Tableau 3).** Notée Clé A jusqu'à clé H pour les protozoaires, clé I et clé J pour les métazoaires.

Tableau 3 : Clé d'identification des protozoaires et des métazoaires **(Canler et *al.*, 2014)**

	Classe	**Sous-classe**	**Critères morphologiques**
Clé A **Protozoaires**	**Clé B** **Flagellés**	/	●Présence des flagelles. ●Vie solitaire (un ou deux ou plus de deux flagelles). ●Vie de colonie (flagelles coloniaux)
	Clé C **Sarcodines**	/	●Présence des pseudopodes (fins, visibles, animal logé dans une thèque).

			●Présence d'une thèque.
	Clés D **Ciliés**	**Clé E** **Holotriches**	●Ciliature uniforme sur la surface du corps.
		Clé F **Péritriches**	●Présence d'une couronne de cils. ●Corps fixé par un pédoncule.
		Clé G **Spirotriches**	●Présence de cirrhes. Ciliature hétérogène.
		Clé H **Suctoriens**	●Présence de tentacules. ●Corps fixé par un pédoncule.
Clé I **Métazoaires**	**Clé J**	**Rotifères**	●Silhouette caractéristiques animal mobile ou fixé, rigide ou contractile.
		Gastrotriches	●Présence de longs cils.
		Nématodes	●Vers lisse
		Tardigrades	●Quatre paires de pattes munies de griffes.
		Annélides **Oligochètes**	●Vers possèdent des touffes de poils rigides.

3.5. Comptage des protozoaires et des métazoaires

Le comptage des protozoaires et des métazoaires a été effectué à l'aide d'une cellule de numération. Cette dernière est une lame de verre épaisse avec des cavités qui forment deux parties latérales plus hautes pour placer une lamelle plate, et une partie centrale un peu plus basse où se trouve un quadrillage utilisé pour compter les organismes.

3.5.1. Cellule de Thoma

La cellule de numération utilisée dans notre étude est la cellule de Thoma **(Figure 49)**. Son quadrillage a une forme carrée composée de 16 grands carrés séparés par des triples lignes. La hauteur de la cellule est de 0, 1 mm et son volume total est de 0, 1µL. Chaque grand carré est divisé en 16 petits carrés grâce à 4 groupes de 3 lignes verticales et 4 groupes de 3 lignes horizontales. Le nombre total du quadrillage de la cellule de Thoma est de 400 petits carrés **(Cuziat, 2011).**

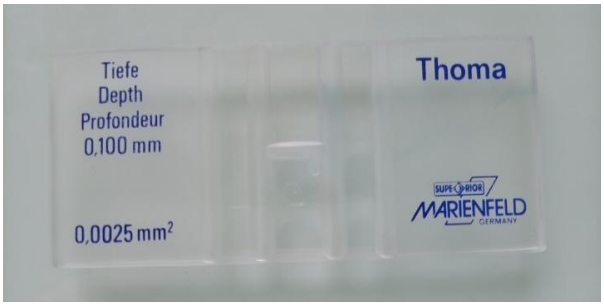


Figure 49 : Cellule de Thoma **(Photo personnelle, 2026)**

3.5.2. Méthode de comptage

Un nettoyage de la cellule est effectué avec un coton imbibé d'alcool **(Canler et *al.*, 2014)**. La lamelle est placée sur la cellule de Thoma, puis celle-ci est déposée sur une surface horizontale, les deux bords de la cellule sont humidifiées légèrement à l'aide d'un chiffon propre et humide pour coller la lamelle sur la cellule **(Figure 50)**, puis une goutte de l'échantillon est déposée entre lamelle et cellule à l'aide d'une pipette Pasteur, en laissant le liquide entrer par capillarité. La goutte ne doit pas déborder dans les rigoles de la cellule et recouvre toute la surface quadrillée **(Cuziat, 2011).**

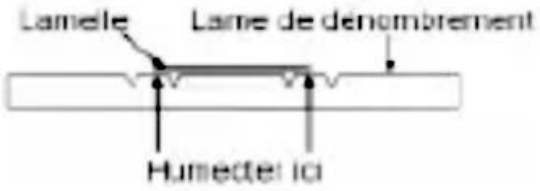


Figure 50 : Préparation de la cellule de Thoma **(Cuziat, 2011)**

Une goutte de colorant fixateur (Lugol) est introduite juste après la goutte de la boue pour fixer les protozoaires et les métazoaires pour une meilleure observation et une bonne numération.

Une observation avec un objectif X10 est réalisée pour identifier la grille et vérifier la répartition homogène des cellules à dénombrer, puis le comptage est effectué avec l'objectif X40 **(Cuziat, 2011).**

Finalement, nous avons compté le nombre des protozoaires et des métazoaires trouvés dans les rectangles de la grille. Le comptage représentatif nécessite l'observation de six lames au minimum **(Canler et *al*., 2014).**

3.5.3. Loi de Comptage

Pour compter les protozoaires et les métazoaires on utilise La formule suivante :

N = n x 6 / 5 x 250.000 (Madoni, 1994)

Où :

N : le nombre total de microorganismes par millilitre (/mL).

n : le nombre de microorganismes comptés au microscope.

6 : le facteur lié au volume observé (nombre des lames observées).

5 : le nombre de champs observés au microscope.

250. 000 : le facteur de conversion permettant d'estimer le nombre total de Microorganismes dans 1 mL**.**

Cette formule peut également s'écrire comme suit : **N = n x 6 / 20 x 10^6(/ml).**

Par exemple, on a trouvé 3 fois une espèce dans les six observations, on calcul :

N= 3 x 6 / 20 x 10^6= 9 x 10^5 (/ml)

Chapitre V :

Résultats et Discussion

Dans cette partie, nous exposons les résultats obtenus des analyses physico-chimiques réalisées sur les eaux usées avant et après traitement et l'étude des protozoaires et des métazoaires de la boue activée de la station d'épuration de Zeghaia Oued Endja.

Les tableaux et les figures suivantes représentent tous les résultats obtenus.

1. Résultats des analyses physico-chimiques

1.1. Analyses physiques de l'eau

1.1.1. Température (T°c)

Dans la STEP de Zeghaia Oued Endja, la température des eaux usées brutes varie entre 15 °C et 24, 1 °C, tandis que celle des eaux traitées est entre 12, 9°C et 23, 9 °C **(Figure 51)**.Ces température restent inférieurs à la limite citée dans la journal officiel 30ºC **(JORADP, 2006).** Ces variations de température sont dues aux variations saisonnières des conditions climatiques de la région. Durant la période de l'hiver (décembre, janvier et février) on observe une diminution de la température ce qui affecte l'activité des microorganismes alors l'efficacité de traitement. Ces microorganismes sont principalement des bactéries filamenteuses qui sont responsables du phénomène de gonflement des boues, se développent généralement à des températures inférieures à 15 °C **(Eikelboom, 2000)**, leur prolifération entraîne une perturbation du système biologique, ce qui peut affecter les protozoaires, ces derniers dépendent d'un environnement stable et d'un équilibre microbien pour fonctionner correctement. Certaines espèces peuvent diminuer leur nombre ou leur activité. Par ailleurs, dans le bassin d'aération, la température joue un rôle très important dans la vitesse des réactions biologiques car les performances optimales du système biologique sont obtenues lorsque la température est comprise entre 18 °C et 25°C **(Metcalf et Eddy, 2003).**

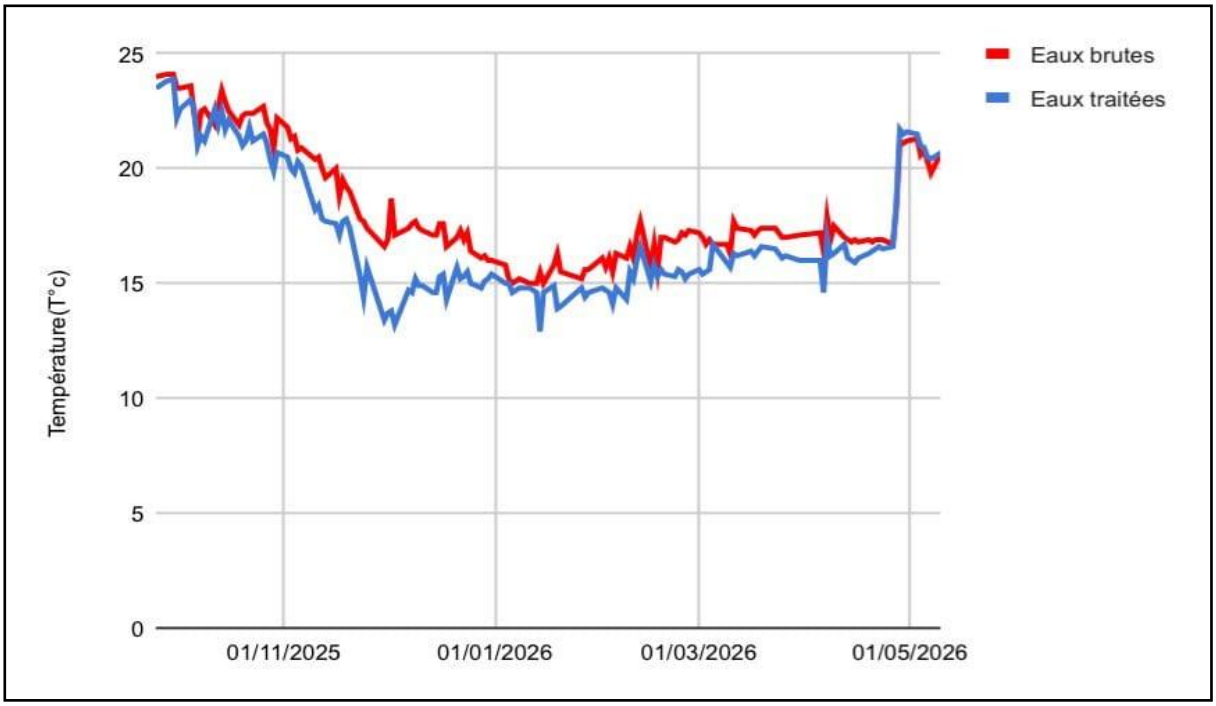


Figure 51 : Variations de la température des eaux usées de la STEP de Zeghaia Oued Endja.

1.1.2. Potentiel d'Hydrogène (pH)

Les valeurs de pH des eaux usées brutes varient entre 7, 3 et 9, 13, tandis que celui des eaux traitées est entre 7 et 9, 03 **(Figure 52)**.

Ces données confirment un pH essentiellement neutre ou proche de la neutralité. Les valeurs de pH mesurées ne sont pas totalement conformes à la plage optimale recommandée (6, 5–8, 5) dans les normes algériennes applicables aux systèmes de traitement biologique **(JORADP, 2006)** pour le bon développement des micro-organismes. Certaines valeurs, dans les eaux brutes et dans les eaux traitées, dépassent légèrement la limite supérieure, atteignant jusqu'à 9, 13 et 9, 03, ce qui traduit des conditions légèrement basiques. Ceci peut affecter l'activité microbienne et l'équilibre biologique, ainsi que le processus de nitrification et l'efficacité du traitement biologique **(Tchobanoglous et *al.*, 2003)**.

Toute augmentation ou diminution du pH en dehors de la plage appropriée peut altérer l'activité enzymatique des bactéries, ce qui affecte la stabilité des flocs et favorise la prolifération des bactéries filamenteuses responsables de dysfonctionnements **(Eikelboom, 2000)**.

Cette prolifération empêche le développement et l'activité des protozoaires qui sont considérés comme un indicateur du bon fonctionnement des boues activées et de l'équilibre microbiologique du système d'épuration **(Canler et *al.*, 2014)**.

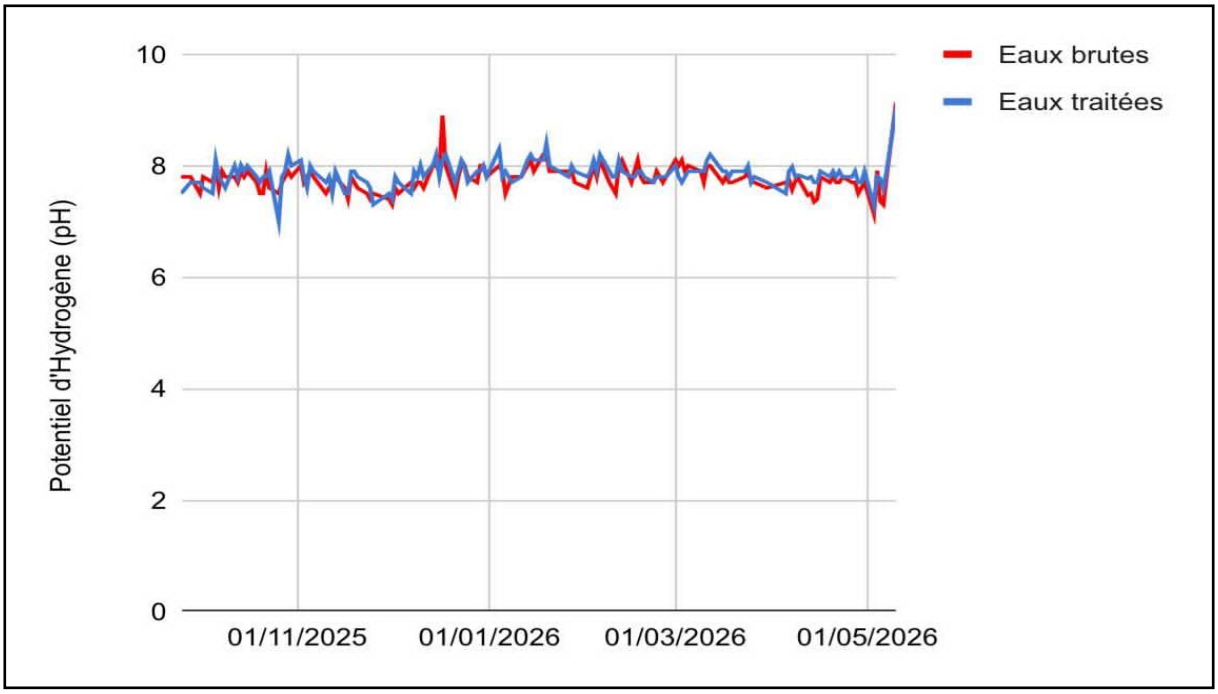


Figure 52 : Variations du pH des eaux usées de la STEP de Zeghaia Oued Endja.

1.1.3. Conductivité (CE)

Les valeurs de conductivité électrique enregistrées dans les eaux usées brutes varient entre 1572 à 2367 µS/cm, tandis que dans les eaux usées traitées, elles varient entre 1383 à 2320 µS/cm **(Figure 53)**.

Ces valeurs indiquent un niveau de minéralisation relativement élevé des eaux usées, associé à la présence d'ions dissous tels que les chlorures, les sulfates et les nitrates **(Rodier et *al.*, 2009)**.

La diminution observée après traitement reflète une réduction partielle de la charge ionique à la station. Bien que certaines valeurs restent relativement élevées, cela indique la présence persistante de sels dissous dans l'eau traitée. Par conséquent, la conductivité électrique est considérée comme un indicateur important de la qualité physico-chimique de l'eau et de son degré de minéralisation. Une conductivité élevée peut affecter l'activité microbienne dans les bassins biologiques, en particulier les bactéries impliquées dans les processus de nitrification (*Nitromonas*) et de dénitrification (*Thiobacillus*), des valeurs de conductivité élevées peuvent perturber certaines réactions biologiques et affecter l'efficacité du traitement **(Metcalf et Eddy, 2014).**

De plus, des variations importantes de la minéralisation peuvent perturber l'équilibre des microorganismes présents dans les boues, notamment les protozoaires et certains organismes multicellulaires sensibles aux conditions environnementales **(Metcalf et Eddy, 2014)**.

Enfin, la stabilité relative des valeurs mesurées dans l'eau épurée favorise le bon fonctionnement d'une station d'épuration.

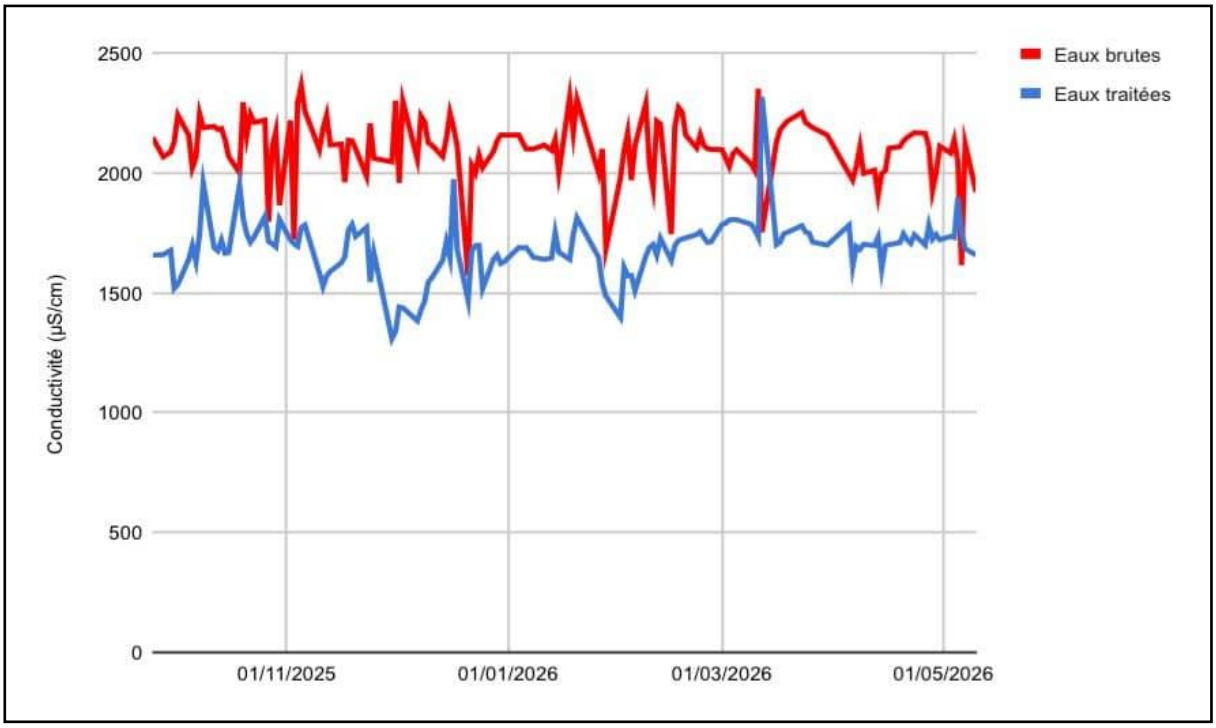


Figure 53 : Variations de la conductivité des eaux usées de la STEP de Zeghaia Oued Endja.

1.1.4. Oxygène dissous

Dans la station d'épuration de Zeghaia Oued Endja, les concentrations d'oxygène dissous mesurées dans les eaux usées brutes varient de 3, 64 à 8, 73 mg/L, tandis que dans les eaux usées traitées, elles varient de 5, 8 à 9, 17 mg/L **(Figure 54)**.

Des niveaux d'oxygène dissous plus élevés après traitement indiquent de meilleures conditions d'aération dans le bassin biologique et un fonctionnement efficace du système de traitement. Dans les eaux usées brutes, les faibles concentrations parfois observées indiquent une charge organique élevée et une consommation importante d'oxygène par les micro-organismes. À l'inverse, les eaux usées traitées présentent des valeurs plus élevées, ce qui témoigne d'une meilleure oxygénation et contribue à une activité biologique accrue **(Metcalf et Eddy, 2014)**.

Des concentrations adéquates d'oxygène dissous favorisent le maintien d'une diversité de microorganismes, tels que les protozoaires et les organismes multicellulaires, reflétant un équilibre biologique sain dans les boues activées. Par ailleurs, les variations saisonnières influent sur les concentrations d'oxygène dissous. Durant les périodes plus froides, l'activité microbienne diminue, entraînant des déséquilibres biologiques dans le bassin d'aération. Le manque d'oxygène peut favoriser la croissance de bactéries filamenteuses responsables du phénomène de gonflement **(Eikelboom, 2000; Metcalf et Eddy, 2003)**.

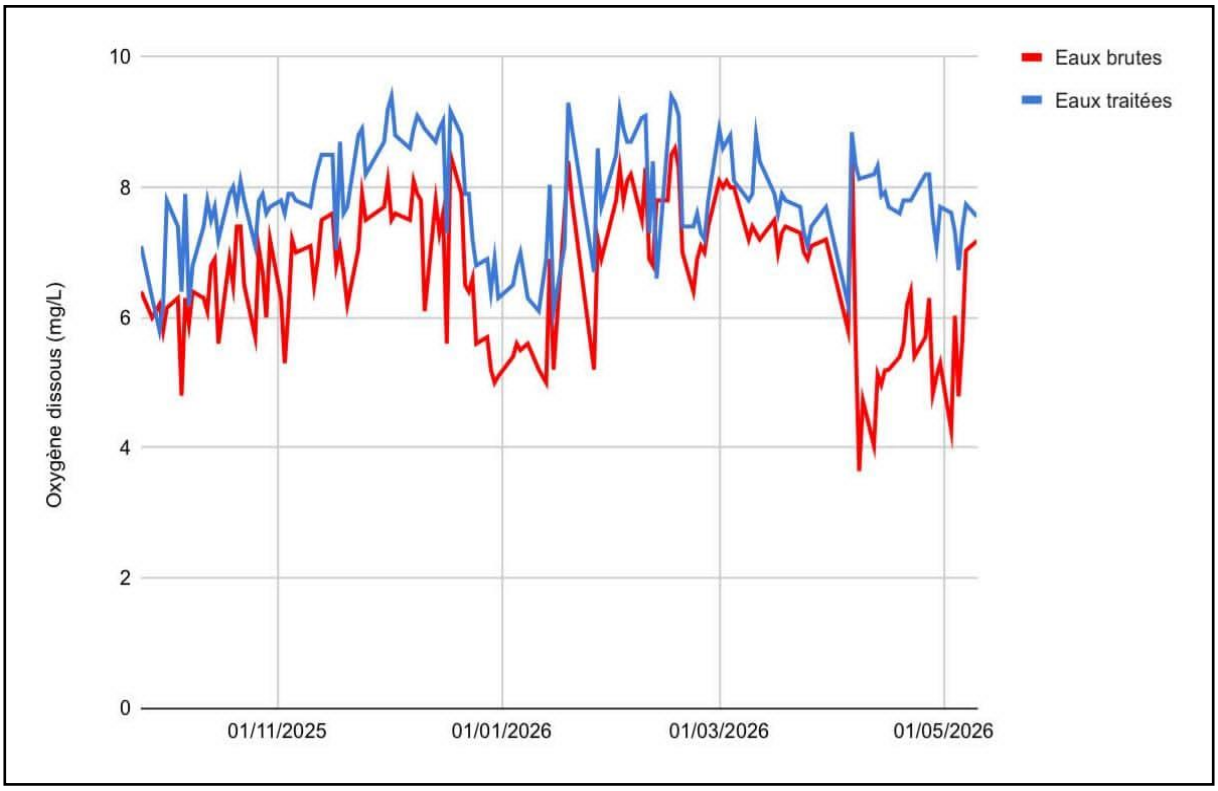


Figure 54 : Variations de l'oxygène dissous des eaux usées de la STEP de Zeghaia Oued Endja.

1.1.5. Matières en suspension (MES)

La figure 55 indique que les concentrations de matières en suspension dans les eaux usées brutes varient de 102 à 260 mg/L. Ceci reflète la présence d'une grande quantité de particules solides d'origine organique et minérale, caractéristique des eaux usées domestiques. Après traitement, les concentrations de ces matières en suspension dans l'eau traitée ont diminué, atteignant des valeurs comprises entre 3 et 18 mg/L.

Cette diminution substantielle témoigne de l'efficacité du traitement biologique et du système de sédimentation secondaire, indiquant une bonne séparation entre les boues activées et l'eau traitée. De plus, les concentrations obtenues à la sortie sont restées inférieures à la limite

réglementaire de 35 mg/L spécifiée dans les normes algériennes. En fait, les faibles concentrations observées dans l'eau traitée témoignent d'une bonne sédimentation des boues, qui maintiennent une biomasse équilibrée, incluant bactéries, protozoaires et organismes multicellulaires, au sein des boues activées **(Metcalf et Eddy, 2003; JORADP, 2006; Rodier et *al.*, 2009)**.

Les concentrations de matières en suspension peuvent être influencées par plusieurs facteurs, notamment les conditions hydrauliques, la charge organique à l'entrée de la station d'épuration et la température. Cette dernière joue un rôle important dans la formation et la stabilité des agglomérations microbiennes **(Eikelboom, 2000; Tchobanoglous et *al.*, 2003)**.

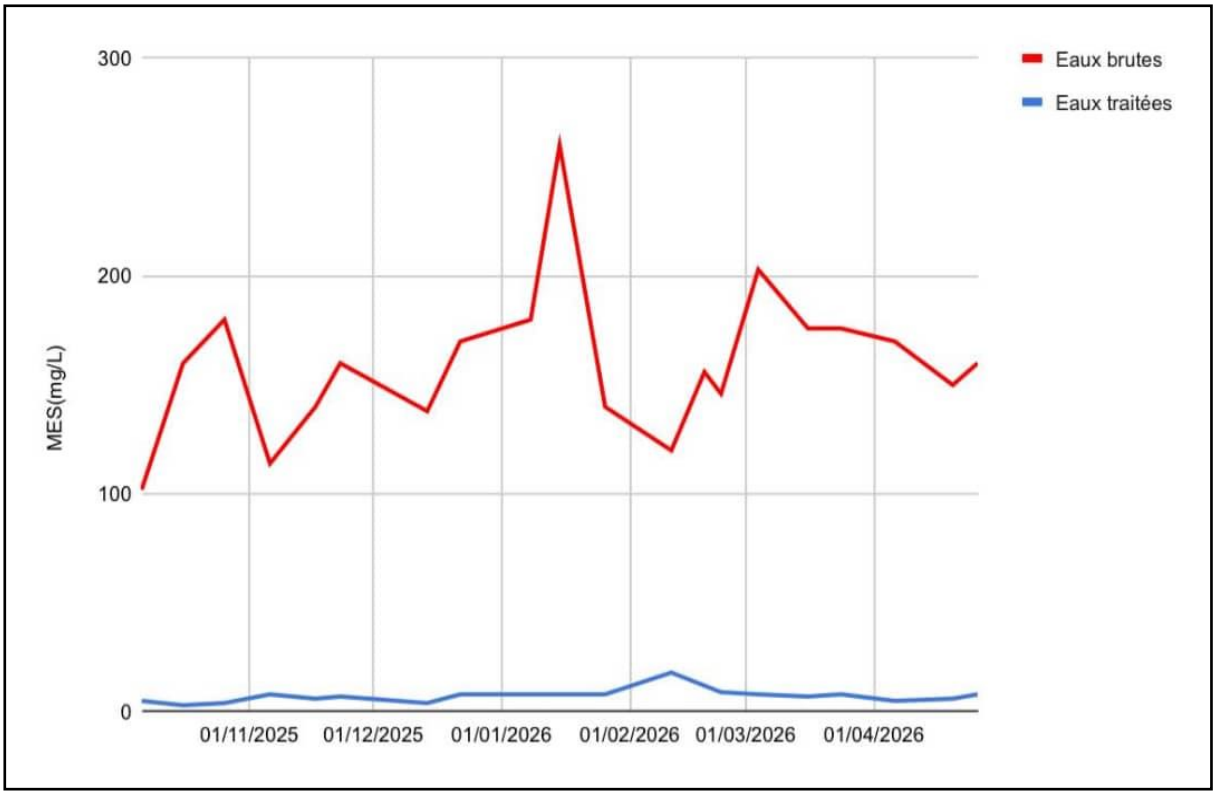


Figure 55 : Variations des MES des eaux usées de la STEP de Zeghaia Oued Endja.

Taux d'abattement des MES

Le taux d'élimination des matières en suspension enregistré dans la STEP de Zeghaia Oued Endja variait entre 85 % et 98, 12 % **(Figure 56)**, démontrant une efficacité de traitement satisfaisante.

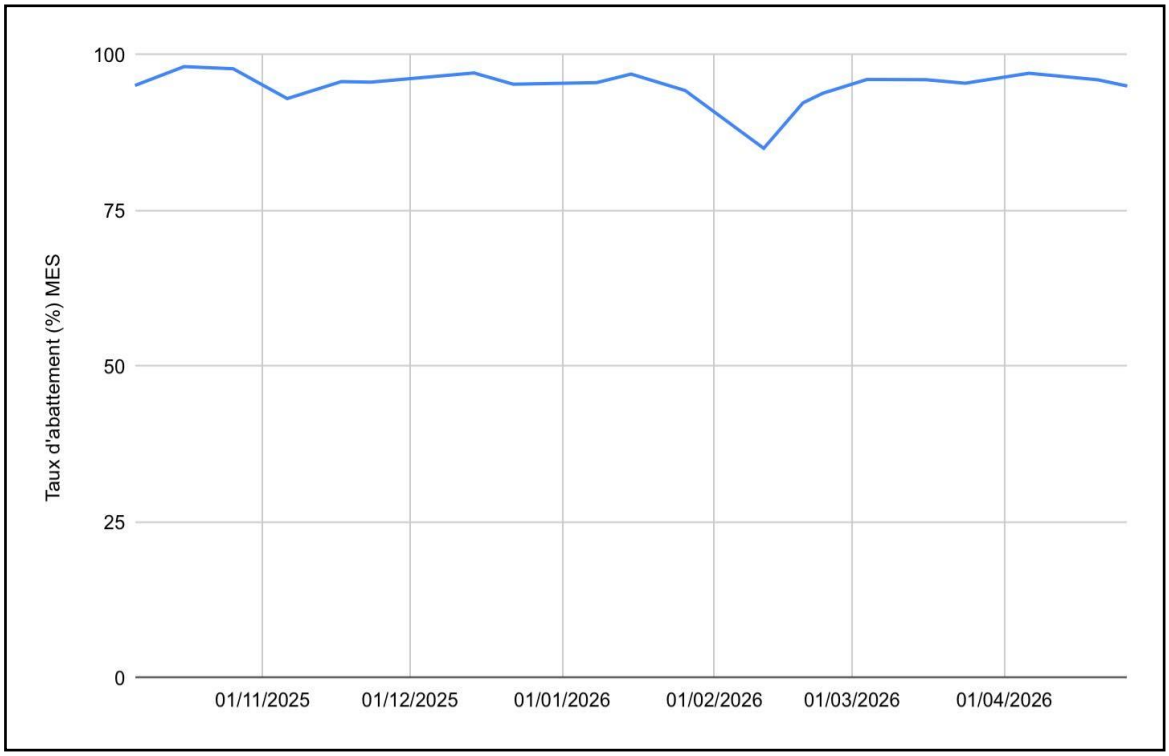


Figure 56 : Taux d'abattement des MES dans la STEP de Zeghaia Oued Endja

1.2. Analyses chimiques de l'eau

1.2.1. Demande chimique en oxygène (DCO)

Dans la station d'épuration de Zeghaia Oued Endja, les valeurs de la DCO enregistrées dans les eaux usées brutes varient entre 310 à 940 mg/L **(Figure 57)**, indiquant une charge organique relativement élevée. Après traitement, les concentrations mesurées dans l'eau traitée ont diminué, atteignant des valeurs comprises entre 40 et 98 mg/L. Cette réduction reflète l'efficacité du procédé de traitement biologique mis en œuvre dans la station. Certaines des valeurs élevées enregistrées dans l'eau brute peuvent être liées à une charge organique importante d'origine domestique ou à des rejets riches en matières biodégradables. La réduction efficace de la demande chimique en oxygène (DCO) est principalement liée à la performance du traitement biologique et au temps de séjour hydraulique, qui assure une oxydation suffisante des composés organiques **(Metcalf et Eddy, 2003; Rodier et *al*, 2009)**.

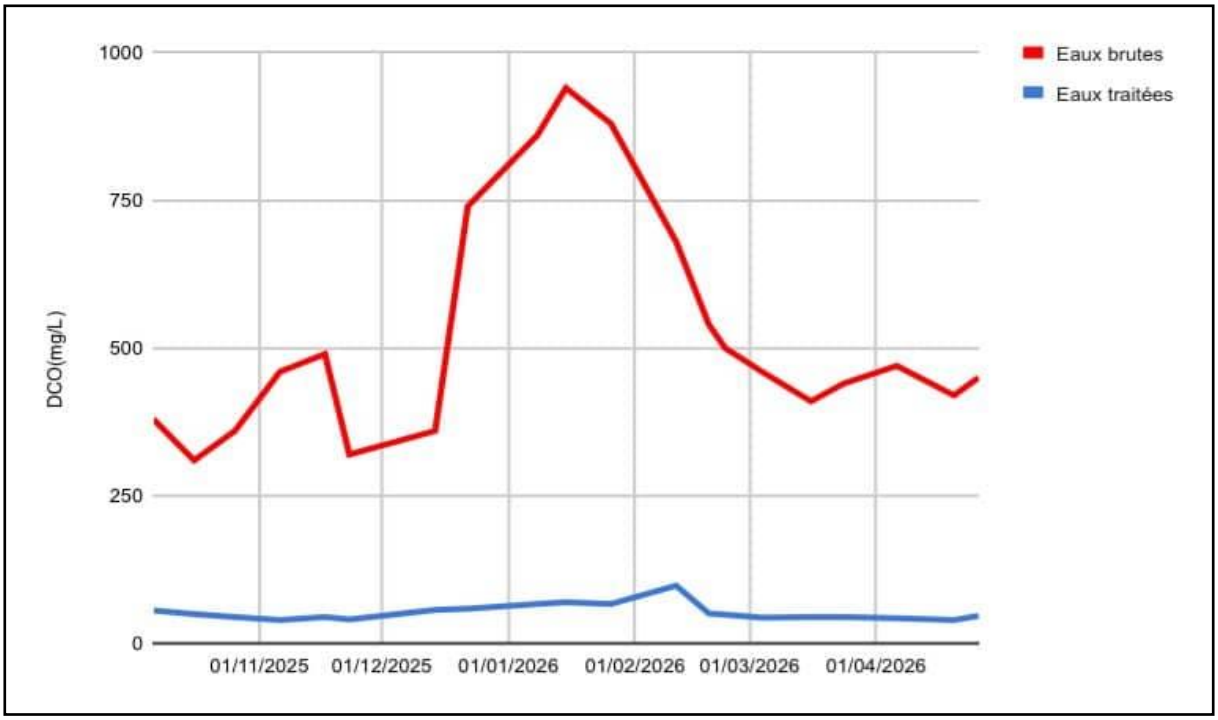


Figure 57 : Variations de DCO des eaux usées de la STEP de Zeghaia Oued Endja

Taux d'abattement de DCO

Le taux d'élimination de la demande chimique en oxygène compris entre 83, 87 % et 92, 55 % **(Figure 58)**, démontre une élimination satisfaisante des substances oxydables dans le bassin d'aération **(Metcalf et Eddy, 2003)**

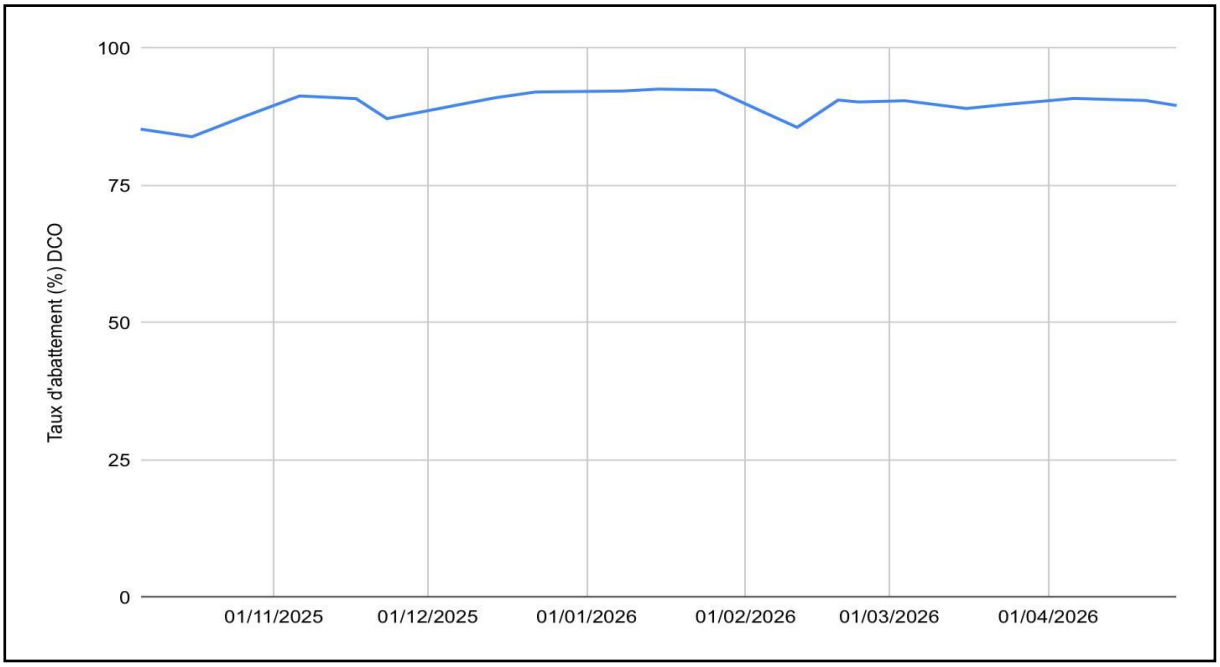


Figure 58 : Taux d'abattement de DCO dans la STEP de Zeghaia Oued Endja

1.2.2. Demande biochimique en oxygène pendant 5 jours (DBO5)

Dans la station d'épuration de Zeghaia Oued Endja, les valeurs de la DBO5 présentent une différence entre les eaux brutes et les eaux traitées. Les valeurs enregistrées dans les eaux brutes à l'entrée varient entre 200 et mg/L et 520 mg/L **(Figure 59)** indiquant une charge de pollution organique élevée, qui caractérise les eaux usées domestiques. Ces valeurs traduisent la présence des matières biodégradables consommées par les microorganismes aérobies au cours du traitement biologique. À la sortie, après le traitement, les valeurs de la DBO5 sont diminuées jusqu'à 5 mg/L et 20 mg /L, ce qui indique le bon traitement et l'efficacité du procédé appliqué.

Les concentrations de la DBO_5 enregistrées après traitement sont conforme aux limites fixées dans les normes algériennes de rejet des eaux usées (35 mg/L) **(JORADP, 2006)**.

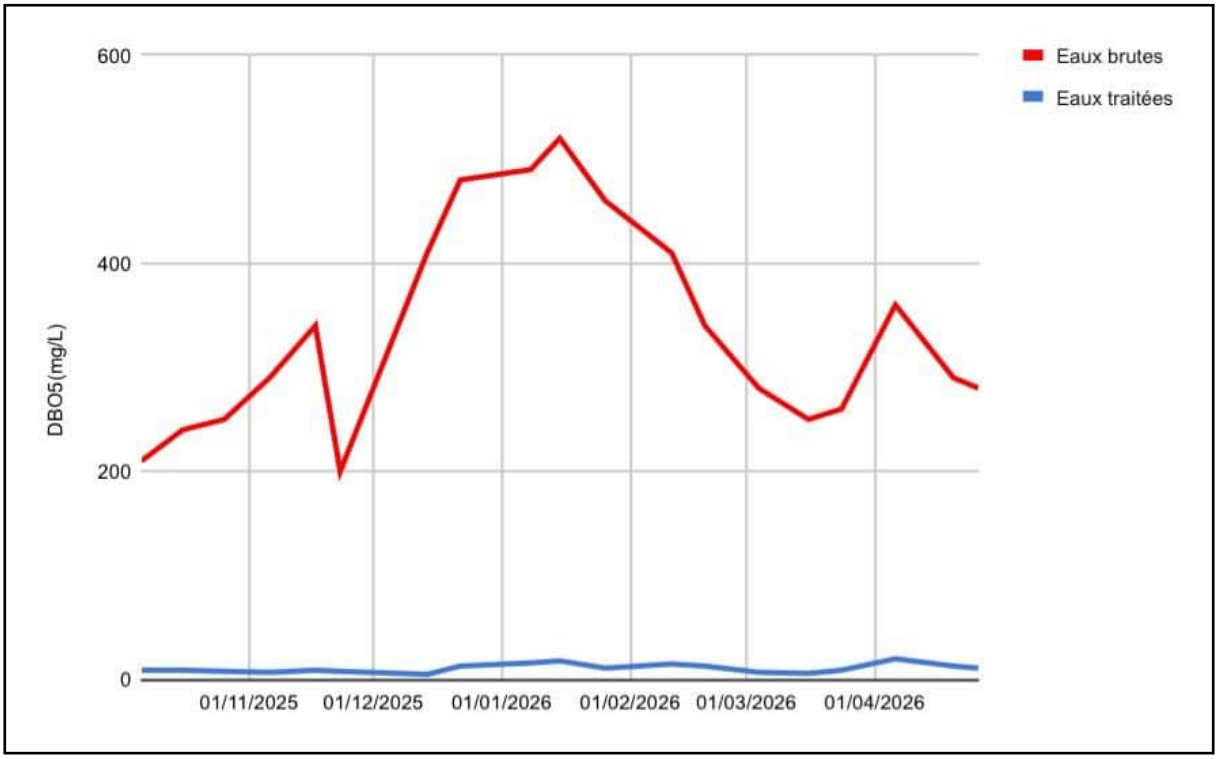


Figure 59 : Variations de DBO5 des eaux usées de la STEP de Zeghaia Oued Endja.

Taux d'abattement de DBO5

Le taux d'abattement de la DBO5 a dépassé de 95% **(Figure 60)**, ce qui indique la bonne qualité de traitement biologique surtout dans les bassins d'aération **(Metcalf et Eddy, 2014)**.

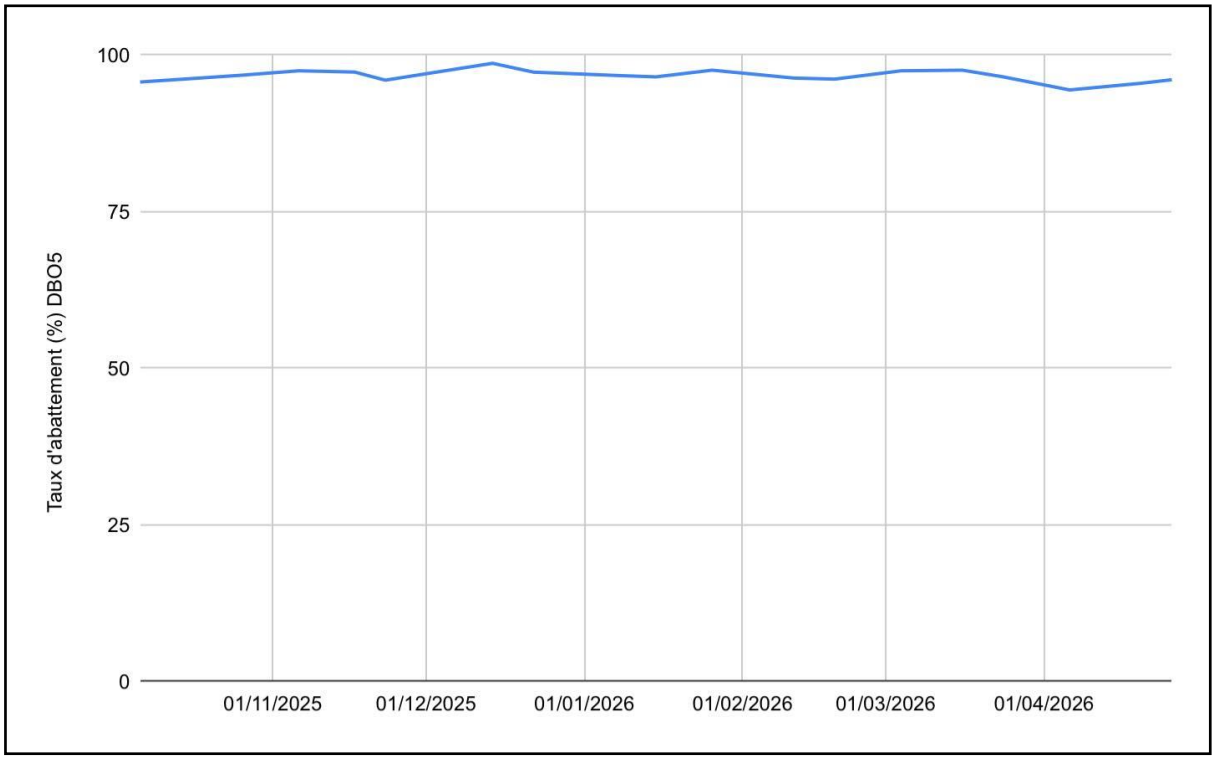


Figure 60 : Taux d'abattement de DBO5 dans la STEP de Zeghaia Oued Endja.

1.2.3. Rapport de biodégradabilité (DCO/DBO5)

Les valeurs du rapport de biodégradabilité DCO/DBO5 varient entre 1, 29 et 1, 91 **(Figure 61)**, ce qui témoigne que l'effluent est facilement biodégradable, ces valeurs indiquent des eaux usées qui contiennent majoritairement des composés organiques biodégradables et confirment la bonne capacité de l'effluent au traitement biologique. Ce qui témoigne que l'effluent est facilement biodégradable **(Rodier et *al*., 2009)**.

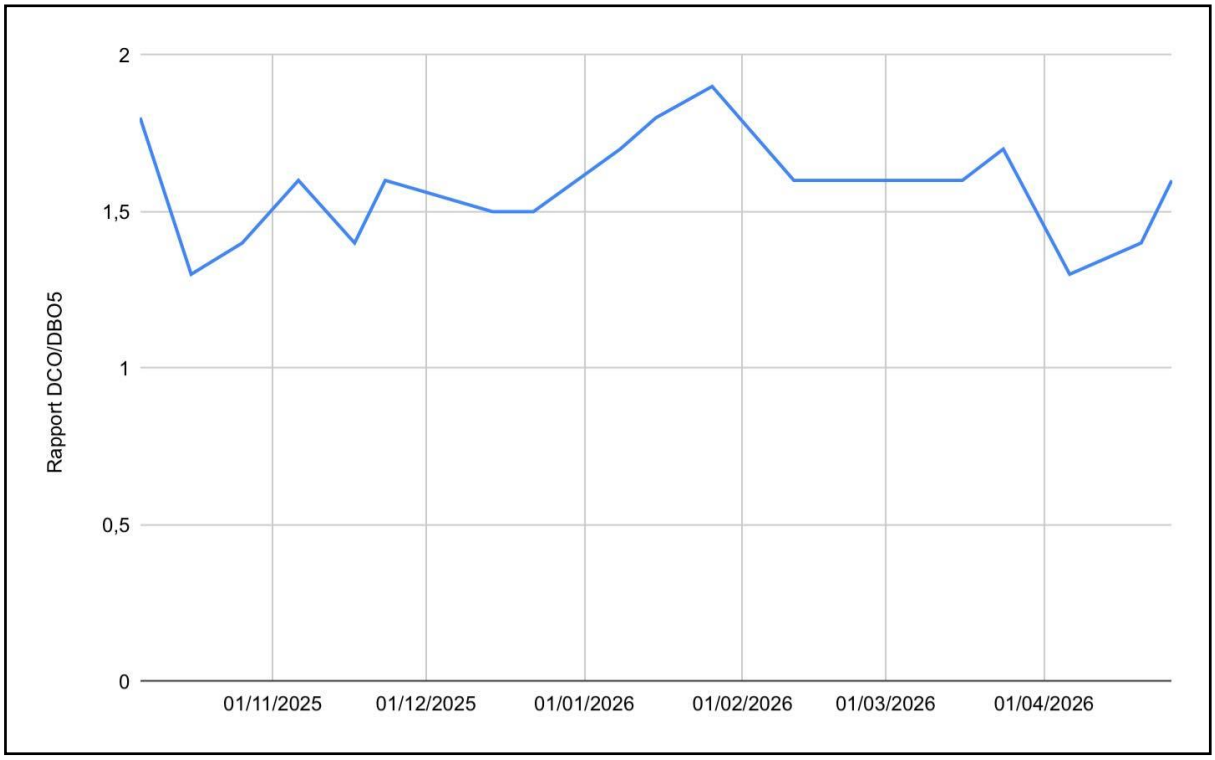


Figure 61 : Variations de rapport de la biodégradabilité dans la STEP de Zeghaia Oued Endja.

1.2.4. Nitrates (NO_3^-)

D'après la figure 62, les concentrations en nitrates dans les eaux usées brutes varient entre 0, 94 mg/L et 3, 6 mg/L. Après traitement, les valeurs enregistrées dans les eaux usées épurées varient entre 0, 46 mg/L et 2, 6 mg/L, ce qui indique une diminution des teneurs en nitrates à la sortie de la STEP et une conformité aux normes algériennes (25 mg/l).

Les faibles teneurs en nitrate au niveau des eaux brutes peuvent être dues au fait que l'azote contenu dans les eaux domestiques est essentiellement d'origine humaine **(Chocat, 1997)**.

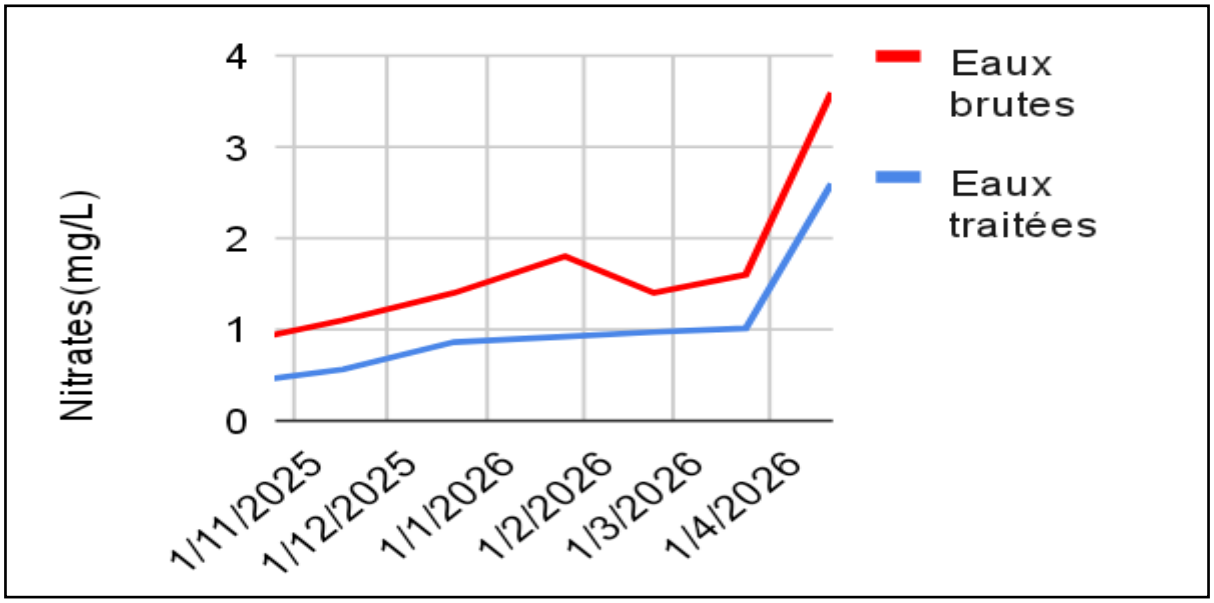


Figure 62 : Variations de nitrates dans la STEP de Zeghaia Oued Endja.

Taux d'abattement des nitrates (NO_3^-)

Le taux d'élimination des nitrates varient entre 27 % et 51 % **(Figure 63)**. Cette élimination partielle s'explique par le fait que l'abattement des nitrates repose sur le processus de dénitrification, qui nécessite un milieu pauvre en oxygène, donc la dénitrification est incomplète à cause de l'absence des conditions anoxiques ou manque de carbone **(Madoni, 1994)**.

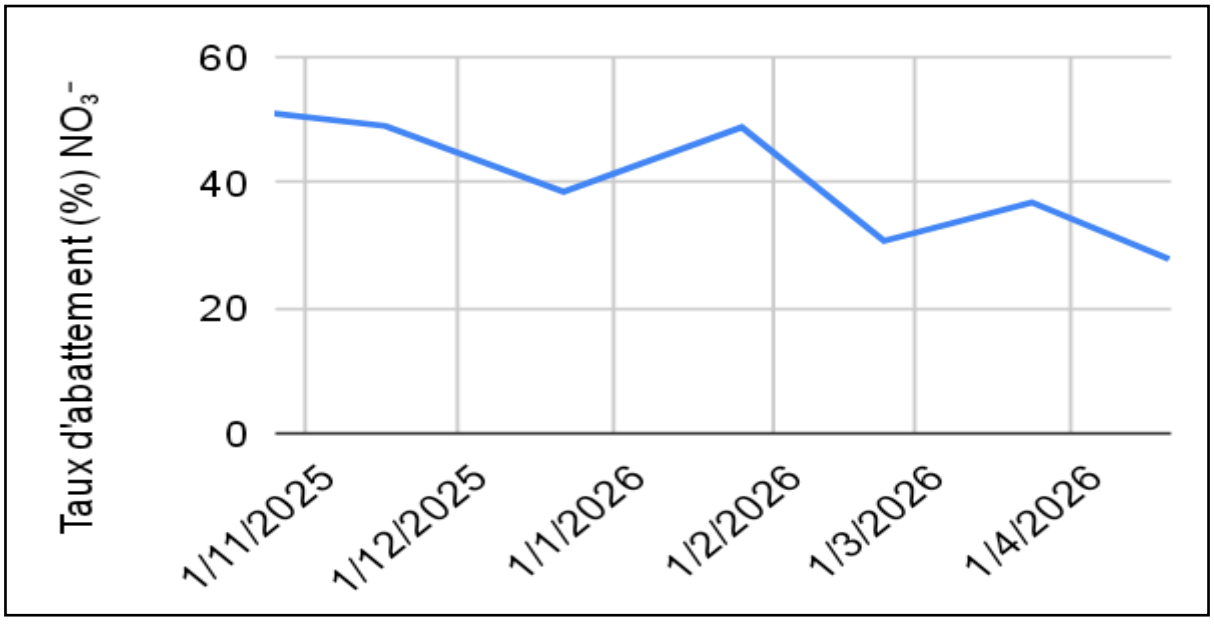


Figure 63 : Taux d'abattement de nitrates dans la STEP de Zeghaia Oued Endja.

1.2.5. Nitrites (NO_2^-)

Les concentrations en nitrites dans la STEP de Zeghaia Oued Endja, des eaux brutes varient entre 0, 16 mg/L et 0, 62 mg/L **(Figure 64)**, et celle des eaux traitées varient entre 0, 10 mg/L et 0, 27 mg/L. Ces résultats présentent une réduction des teneurs en nitrites après traitement, ce qui indique une élimination partielle satisfaisante.

Alors les nitrites sont transformés en nitrates au cours des processus de nitrification ou consommés par les microorganismes. La présence des nitrites est généralement liée à une oxydation incomplète de l'ammoniaque où la nitrification n'était pas conduite à son terme, soit d'une réduction des nitrates sous l'effet de la dénitrification à des températures élevées, , cette dernière joue un rôle important pour le fonctionnement du système de traitement **(Choubert, 2002)**.

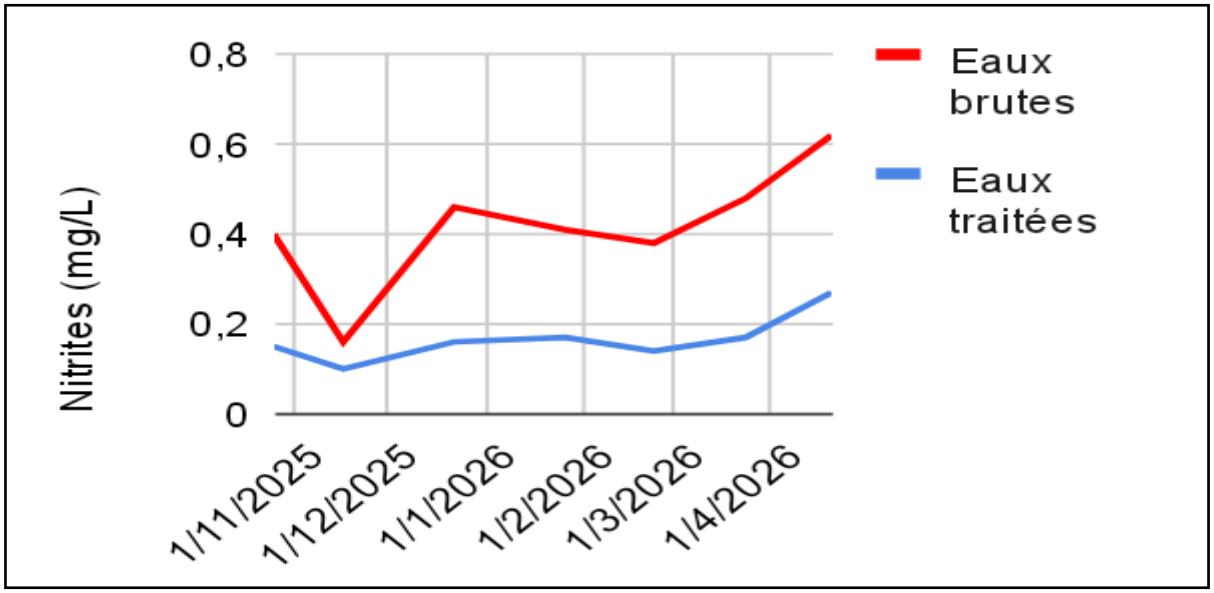


Figure 64 : Variations des nitrites dans la STEP de Zeghaia Oued Endja.

Taux d'abattement des nitrites (NO_2^-)

Les taux d'élimination des nitrites se situent entre 37, 5% et 65, 21% **(Figure 65)**, peuvent être considérés comme satisfaisants dans ce système de traitement biologique.

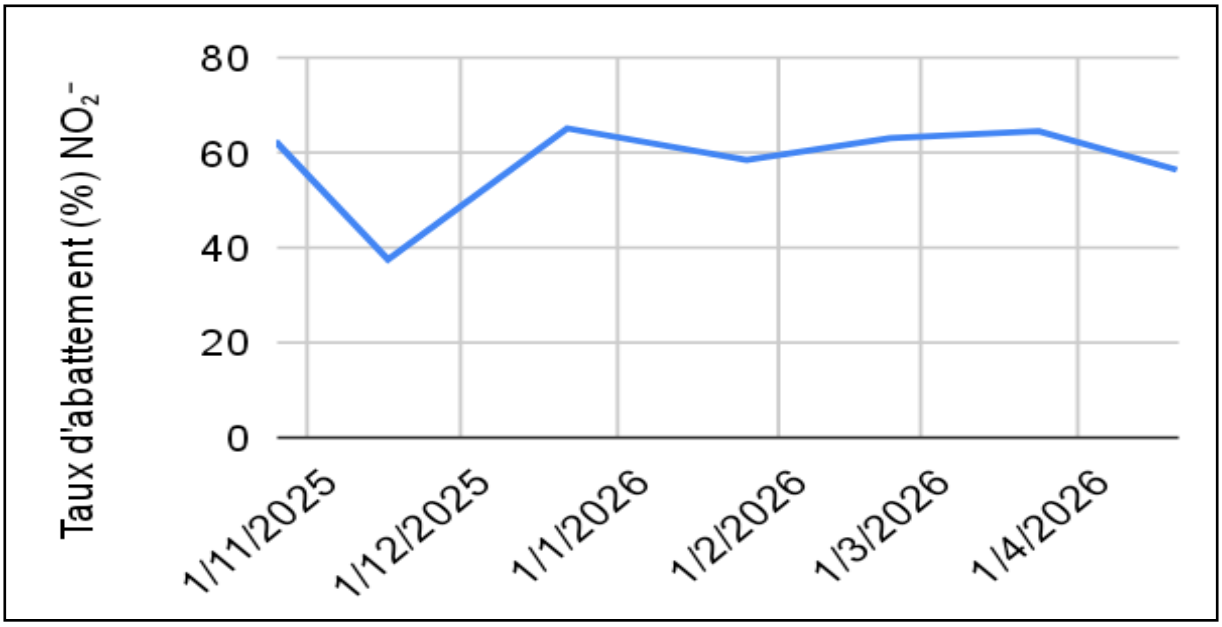


Figure 65 : Taux d'abattement de nitrites dans la STEP de Zeghaia Oued Endja.

1.2.6. Azote ammoniacal (NH_4^+)

Dans la station de Zeghaia Oued Endja, les concentrations en azote ammoniacal varient entre 27 mg/L et 36 mg/L à l'entrée et entre 2 mg/L et 3, 6 mg/L à la sortie après le traitement **(Figure 66).**

La réduction des teneurs en ammonium au niveau de la station d'épuration est due au processus de traitement biologique par boues activées qui permet de diminuer la chargepolluante en NH_4^+. Cette réduction est mise en œuvre par une réaction chimique dite nitrification autotrophe qui fait appel à des bactéries nitrifiantes telles que *Nitrobacter* **(Osmani, 2013).**

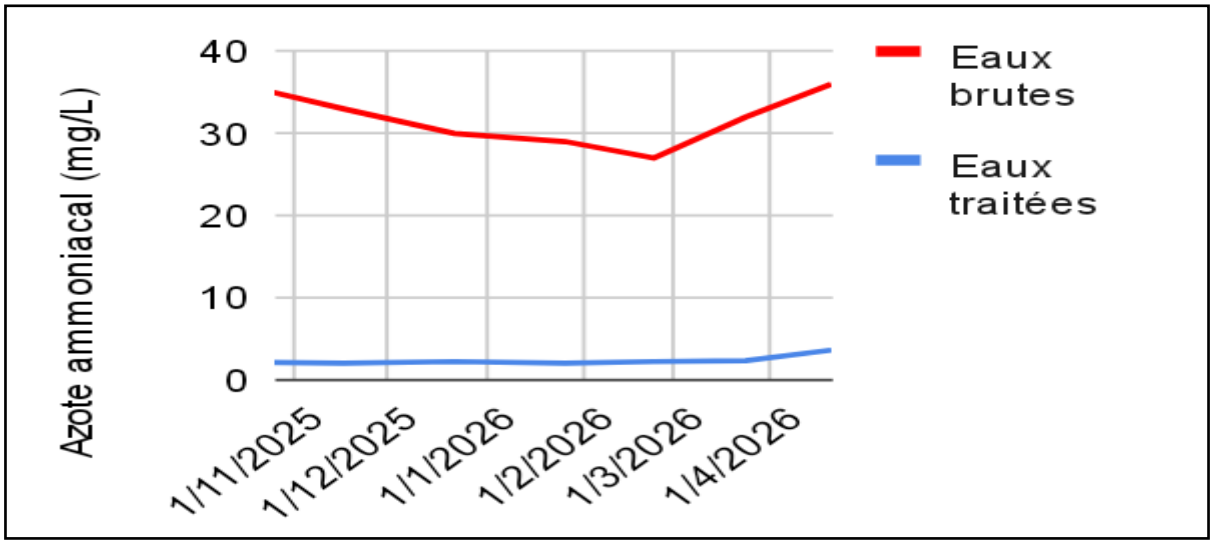


Figure 66 : Variations de l'azote ammoniacal dans la STEP de Zeghaia Oued Endja.

Taux d'abattement de l'azote ammoniacal (NH_4^+)

Les taux d'abattement de l'azote ammoniacal varient entre 90% et 97, 85% **(Figure 67)**. Ces résultats présentent une réduction élevée de l'azote ammoniacal après traitement, ce qui témoigne une très bonne performance du procédé de nitrification au sein de la station.

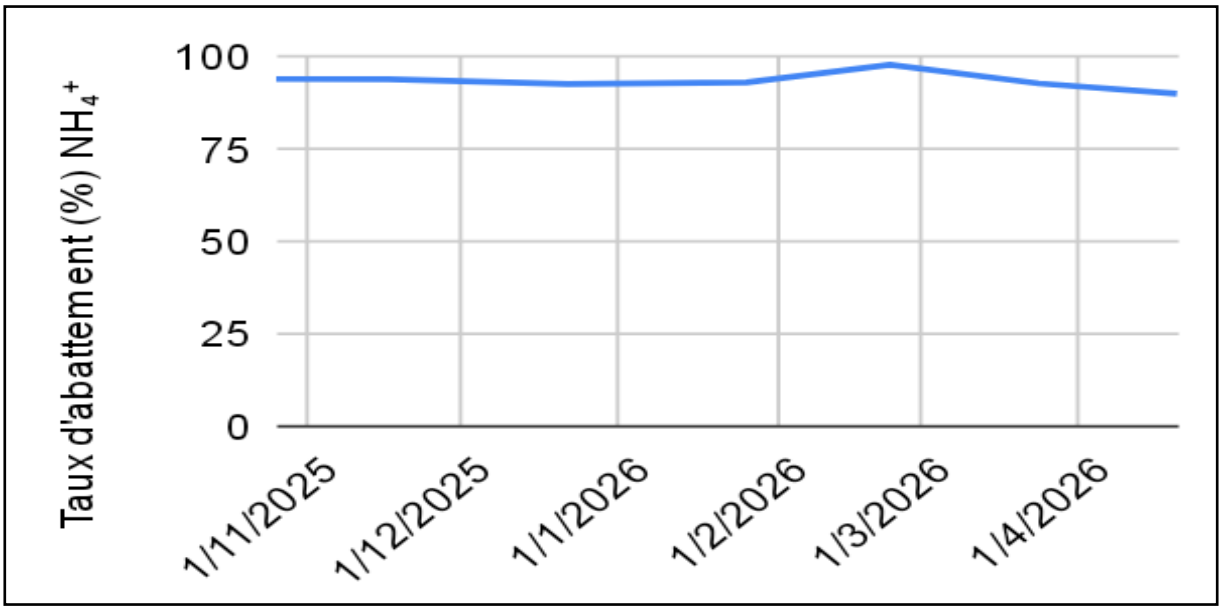


Figure 67 : Taux d'abattement de l'azote ammoniacal dans la STEP de Zeghaia Oued Endja.

2. Résultats de l'observation macroscopique et microscopique des boues activées

2.1. Observation macroscopique

Au cours de la période d'étude (du mars jusqu'à mai 2026), l'observation directe de la boue activée a montré une présence de mousse de couleur marron à la surface du bassin **(Figure 68)**. Cette mousse pouvait indiquer une prolifération excessive de bactéries filamenteuses, un manque d'aération ou la présence de tensioactif **(Jenkins et *al*., 2003).**



Figure 68 : Apparence de la mousse dans le bassin d'aération de la STEP de Zeghaia Oued Endja **(Photo personnelle, 2026)**

2.1.1. Couleur

La boue que nous avons observée dans le bassin montrait une couleur marron clair uniforme **(Figure 69)**, ce qui indique une boue activée en aération prolongée bien minéralisée et concentrée et présente une bonne capacité de décantation **(Canler et *al*., 2014)**.



Figure 69 : Échantillon de la boue activée de couleur marron clair **(Photo personnelle, 2026)**

2.1.2. Odeur

La boue au niveau de la STEP de Zeghaia Oued Endja avait une odeur légère de terre ce qui indiquait une bonne aération et une faible charge d'effluents **(Canler et *al*., 2014).**

2.1.3. Qualité de surnageant et quantité de boue

Lorsque la boue a été transférée dans un bécher, une séparation nette entre le surnageant liquide et la boue décantée était observable **(Figure 70)**. Le surnageant obtenu est clair signifie un bon traitement, et la quantité de boue est satisfaisante, ceci signifie une indication d'une bonne décantation selon Canler et *al*., 2014.

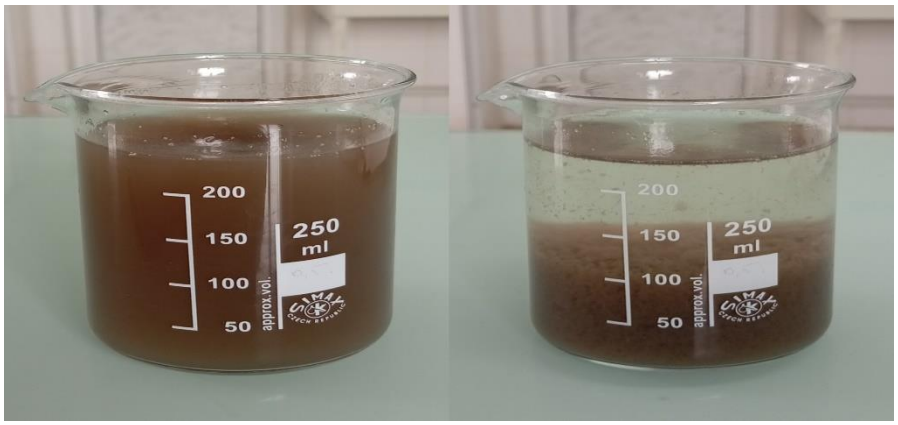


Figure 70 : Échantillon de la boue avant et après 10 minutes de décantation **(Photo personnelle, 2026).**

2.2. Observation microscopique

Dans le cadre de cette étude, des observations microscopiques ont été effectuées entre le mois de mars et le début de mai 2026 sur des échantillons prélevés des boues activées du bassins biologiques. L'observation microscopique visait à suivre les protozoaires et des métazoaires présents dans la boue activée de la STEP de Zeghaia Oued Endja. Les protozoaires sont présents avec la dominance des ciliés et rarement des métazoaires. Les végétaux sont présents sous forme de débris. Le floc est assez foncé ayant un aspect de graine. Les champignons et les algues sont présents en petit nombre. L'observation microscopique a montré aussi la présence des structures filamenteuses.

Lors de l'observation microscopique des boues activées réalisée à l'état frais et après coloration avec plusieurs colorants, nous avons mis en évidence une présence importante des bactéries filamenteuses. Cette observation confirme l'apparition de mousse à la surface des

bassins biologiques. Par ailleurs, l'analyse microscopique a également montré une forte présence de protozoaires en particulier les ciliés.

Les figures **71 - 75** montrent l'observation microscopique de la boue activée à l'état frais et après coloration.

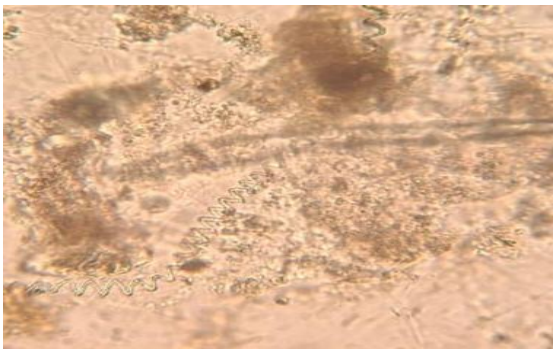


Figure 71 : Observation microscopique à l'état frais(400X) **(Photo personnelle, 2026)**

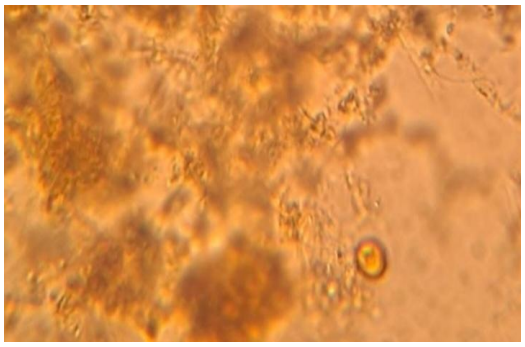


Figure 72 : Observation microscopique avec le lugol (400X) **(Photo personnelle, 2026)**

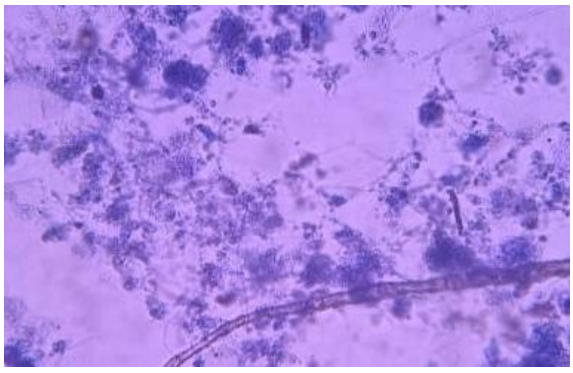


Figure 73 : Observation microscopique avec le bleu de méthylène (400X) **(Photo personnelle, 2026)**

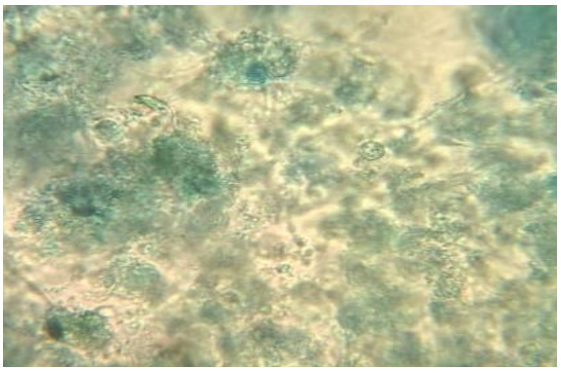


Figure 74 : Observation microscopique avec le vert de méthyle (400X) **(Photo personnelle, 2026)**

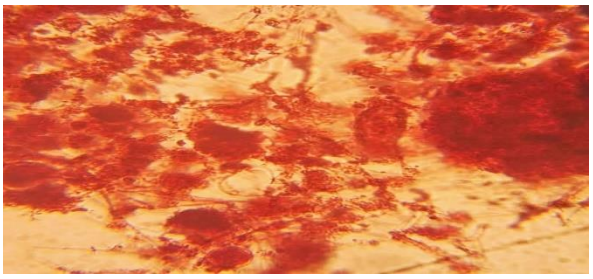


Figure 75 : Observation microscopique avec le rouge neutre (400X) **(Photo personnelle, 2026)**

2.3. Identification des protozoaires et des métazoaires

L'observation microscopique des boues activées est un outil présentant de nombreux avantages.Elle constitue le seul moyen de diagnostic rapide et pratique dont disposent les intervenants dans les stations d'épuration.Elle vient compléter les diagnostics basés sur d'autres critères tels que l'observation visuelle, les odeurs et les analyses physico-chimiques.Elle aide dans l'identification des protozoaires des et métazoaires et les bactéries filamenteuses, alors que leur observation au microscope optique peut donner des indications sur le niveau de traitement et de fonctionnement **(Canler et *al.*, 2014).**

2.3.1. Les protozoaires

2.3.1.1. Les flagellés

Les espèces présentes dans la boue activée de la STEP de Zeghaia Oued Endja sont *Euglena gracilis, Volvox et Oicomonas socialis.*

Les grands flagellés ayant une taille entre 20 µm et 100 µm, un corps déformable tel que *Euglena gracilis* **(Figure 76)** est relative à la qualité de traitement correcte, sa présence liée à de faibles concentration de boues **(Canler et *al.*, 2014)**.

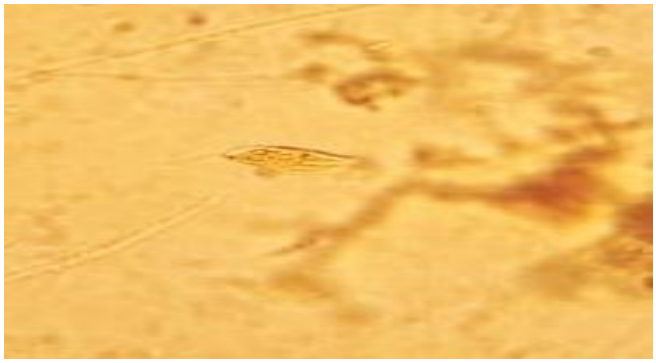


Figure 76 : *Euglena gracilis* (400X) **(Photo personnelle, 2026)**

Les flagellés coloniaux tels que *Volvox* **(Figure 77)** ayant 100 µm à 250µm de diamètre correspond à une charge massique élevée, une oxygénation insuffisante voire limitée et une qualité médiocre des effluents de sortie **(Canler et *al.*, 2014)**

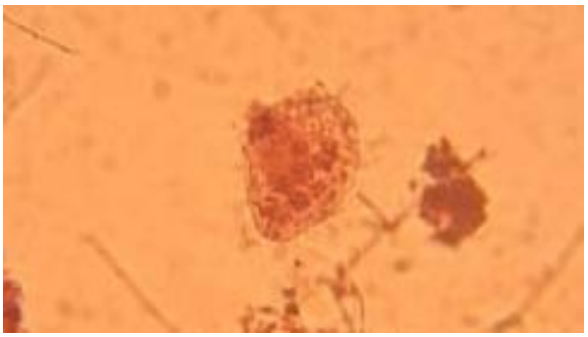


Figure 77 : Le genre *Volvox* (400X) **(Photo personnelle, 2026)**

Oicomonas socialis aussi est parmi les flagellés coloniaux, leur taille varie entre 10 et 15 µm **(Figure 78)**. Cette espèce témoigne d'une forte charge et une faible oxygénation **(Madoni, 1994 ; Canler et *al*., 2014).**



Figure 78 : *Oicomonas socialis* (400X) **(Photo personnelle, 2026)**

Les petits flagellés comme *Monas globosa* **(Figure 79)** sont associés à une charge faible et un rendement correct. Aussi le genre *Bodo* **(Figure 80)** qui contient deux flagelles inégaux et il se déplace rapidement par bonds. Il indique un faible rendement d'épuration et un milieu riche en ammoniaque **(Canler et *al*., 2014).**



Figure 79 : *Monas globosa* (400X) **(Photo personnelle, 2026)**

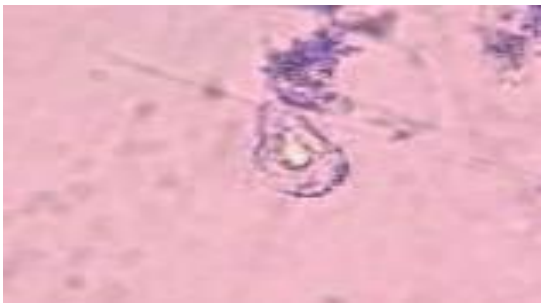


Figure 80 : Le genre *Bodo* (400X) **(Photo personnelle, 2026)**

2.3.1.2. Les sarcodines

Les sarcodines trouvés dans notre étude sont des thécamébiens et des amébiens.

Les thécamébiens, notamment l'espèce *Clamydophrys stercorya* **(Figure 81)** qui a un diamètre de 20 à 40 µm et un thèque circulaire ovoïde et transparent est une indication d'une faible charge organique résiduelle **(Canler et *al.*, 2014)**.



Figure 81 : *Clamydophrys stercorya* (400X) **(Photo personnelle, 2026)**

Le genre *Arcella* présente une thèque arrondie et transparente de couleur orangée **(Figure 82)**, il témoigne d'une installation de faible charge et de bonnes performances en nitrification d'où un bon degré d'aération **(Canler et *al.*, 2014)**.

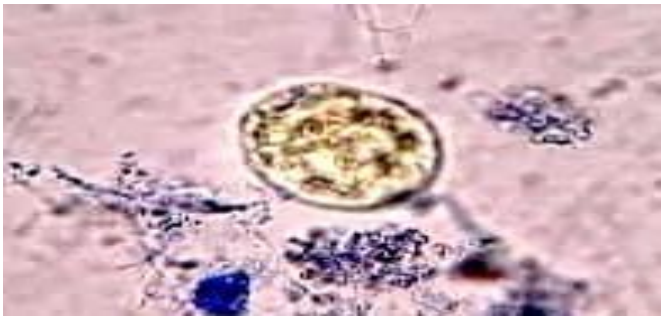


Figure 82 : Le genre *Arcella* (400X) **(Photo personnelle, 2026)**

Le genre *Euglypha* dont la taille varie entre 50 et 150 µm avec une thèque ovoïde et transparente, composée de plaquettes ovales bien agencées, peut contenir des pseudopodes **(Figure 83)**. Sa présence indique d'une installation de faible charge ou d'aération prolongée avec ou sans nitrification (aération suffisante) **(Canler et *al*., 2014)**.



Figure 83 : Le genre *Euglypha* (400X) **(Photo personnelle, 2026)**

Alors que les amébiens soient de petites tailles (inférieur à 40 µm) tels que les espèces *Mayorella cultura* **(Figure 84)** et *Hartamanella vermiformis* **(Figure 85)**, soient de grande taille (plus de 100µm) qui sont mobiles lentement, leur corps est un sac déformable transparent ou granuleux. Leur présence est liée à des apports d'effluents industriels (industrie de chimie) et corrélée à une bonne oxygénation et un bon traitement de carbone **(Canler et *al*., 2014)**.



Figure 84 : *Mayorella cultura* (400X) **(Photo personnelle, 2026)**



Figure 85 : *Hartamanella vermiformis* (400X) **(Photo personnelle, 2026)**

2.3.1.3. Les ciliés

La boue activée de la STEP de Zeghaia Oued Endja contient une grande quantité de ciliés de tous types : holotriches, péritriches et spirotriches

- **Les holotriches**

Trachelophyllum pusillum ayant un corps en forme de bouteille allongée aplatie et flexible avec une bouche entourée de cils, elle contient une seule vacuole terminale **(Figure 86)**. Elle se trouve dans tous les domaines de charge et est corrélée à une épuration médiocre **(Canler et *al*., 2014)**.



Figure 86 : *Trachelophyllum pusillum* (400X) **(Photo personnelle, 2026)**

Coleps hirtus ayant un corps déformable en forme de tonneau recouvert de plaquettes avec une ciliature uniforme et une bouche apicale **(Figure 87)**. Sa présence importante témoigne une installation de la faible charge avec une oxygénation satisfaisante, une bonne efficacité de nitrification et un bon traitement de carbone **(Canler et *al*., 2014)**.

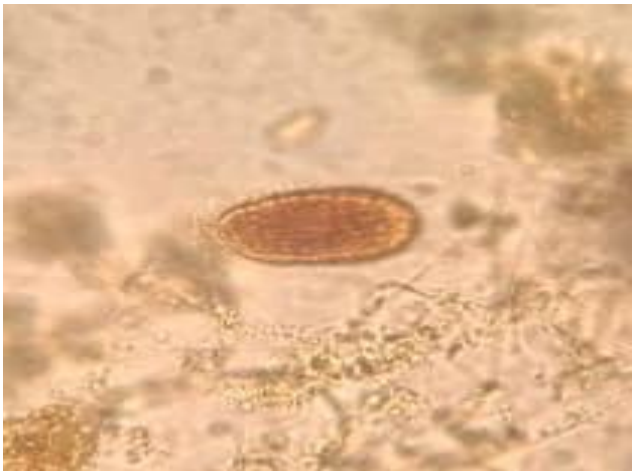


Figure 87 : *Coleps hirtus* (400X) **(Photo personnelle, 2026)**

Le genre *Litonotus* se caractérise d'une longueur qui varie entre 50 et 200 µm, avec un corps allongé et flexible et une vacuole contractile près de l'extrémité postérieure et deux macronuclei centraux, sa ciliature se trouve uniquement sur un côté du corps **(Figure 88)**. Ce genre est un indicateur d'une phase de traitement dite transitoire **(Canler et *al*., 2014)**.

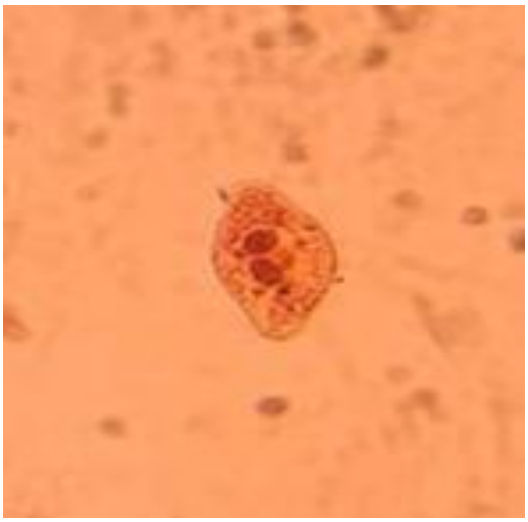


Figure 88 : Le genre *Litonotus* (400X) **(Photo personnelle, 2026)**

Le genre *Chilodonella* de taille supérieure à 100µm contient une ciliature homogène sur la face ventrale avec un corps asymétrique et une appareil buccal visible sous forme d'un tube foncé strié **(Figure 89)**. Ce genre est corrélé avec le développement de bactéries filamenteuses, et peut se trouver dans tous les domaines de charge, aussi c'est un indicateur de bonne qualité de traitement (Traitement de l'azote) **(Canler et *al.*, 2014)**.

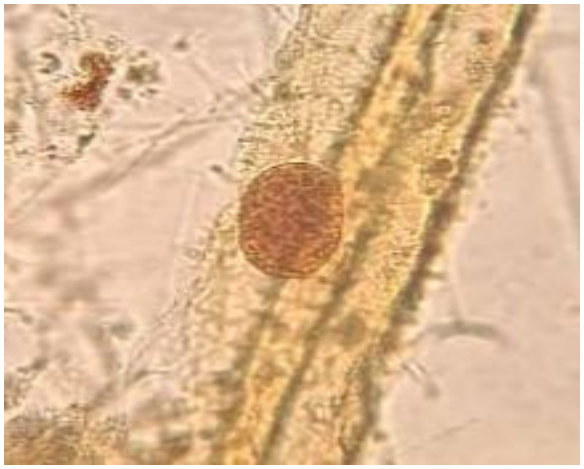


Figure 89 : Le genre *Chilodonella* (400X) **(Photo personnelle, 2026)**

Paramecium est un genre ayant un corps déformable, ciliature uniforme et une longue fente dans la partie antérieure **(Figure 90)**. C'est un nageur rapide. Sa présence est liée à une phase transitoire et indique une eau de très bonne qualité **(Canler et *al.*, 2014)**.

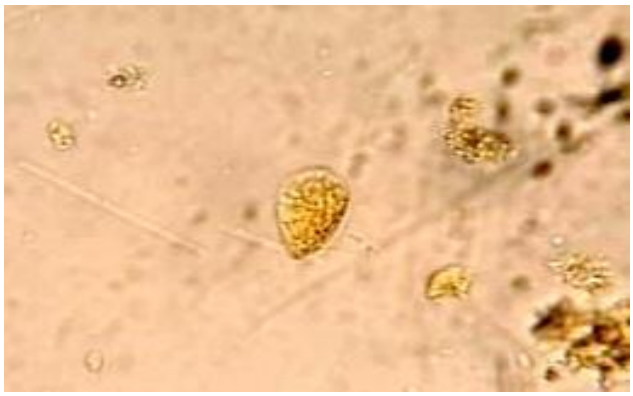


Figure 90 : Le genre *Paramecium* (400X) **(Photo personnelle, 2026)**

Le genre *Colpidium* ayant un corps en forme de haricot allongé présente des rayures des cils uniformes avec la présence d'une touffe de plus longs cils à l'arrière du corps, un macronuléus sphérique et une vacuole contractile **(Figure 91)**. C'est un nageur lent. Ce genre témoigne d'un effluent de qualité moyenne à faible **(Canler et *al*., 2014)**.



Figure 91 : Le genre *Colpidium* (400X) **(Photo personnelle, 2026)**

Aussi le genre *Holophrya*, c'est un holotriche à symétrie axiale et déformable **(Figure 92)**. Sa présence indique le bon degré de traitement et une qualité d'effluent finale correcte aussi une faible concentration en NH_4^+ **(Canler et *al*., 2014)**.

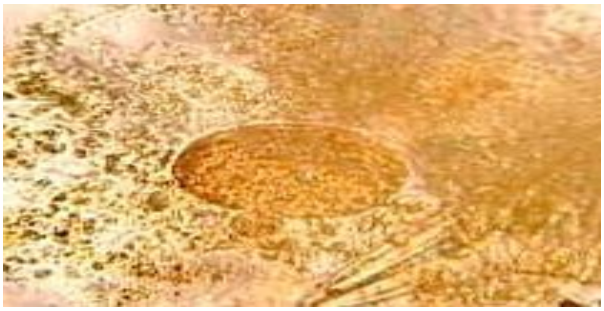


Figure 92 : *Holophrya* (400X) **(Photo personnelle, 2026)**

- **Les péritriches**

Le genre *Vaginicola* présent sous forme d'une couronne ciliaire avec l'absence de pédoncule **(Figure 93)**, il vit dans une carapace transparente en forme de cône et fixée au floc. Il indique l'installation de faible charge et l'effluent traité de bonne qualité **(Canler et *al.*, 2014)**.

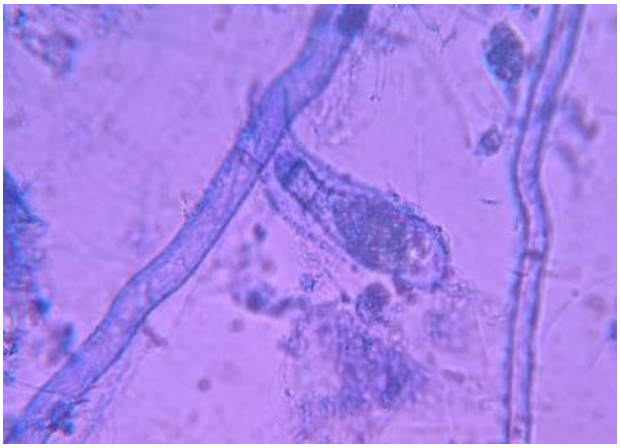


Figure 93 : Le genre *Vaginicola* **(Photo personnelle, 2026)**

Epistylis plicatilis, qui se retrouve en forme de cloche allongé avec couronne de cils large et un macronuléus en forme de "C" **(Figure 94)**. Ce genre est présent dans les boues concentrées ayant un taux de MVS élevé. Sa présence est associée à un fonctionnement stable de l'installation, il indique aussi un bon traitement de la charge organique et du NH_4^+ **(Canler et *al.*, 2014)**.

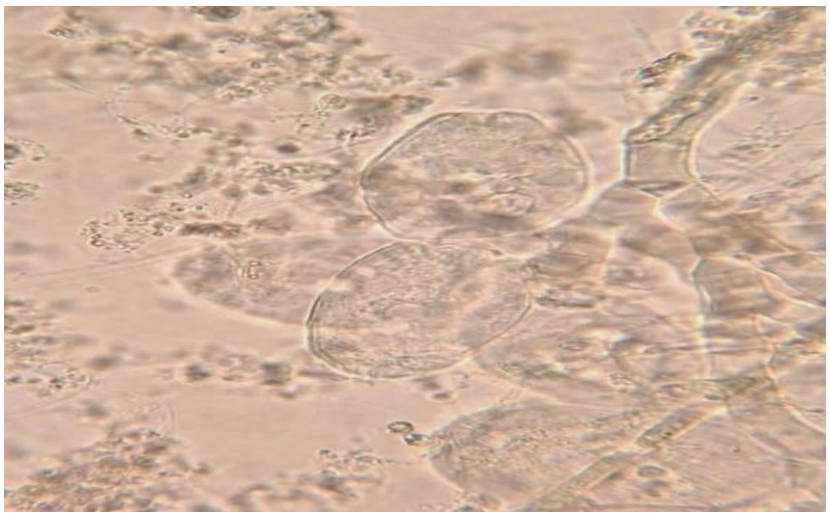


Figure 94 : *Epistylis plicatilis* (400X) **(Photo personnelle, 2026)**

Les vorticelles à pédoncule court notamment *Vorticella microstoma*, sont des ciliés de petite taille (20 et 60 m), et de forme sphérique allongée striée, avec une couronne de cils et un

myonème **(Figure 95)**. Ils indiquent des eaux interstitielles chargées en bactéries libres et aussi un niveau de traitement moyen **(Canler et *al.*, 2014)**.

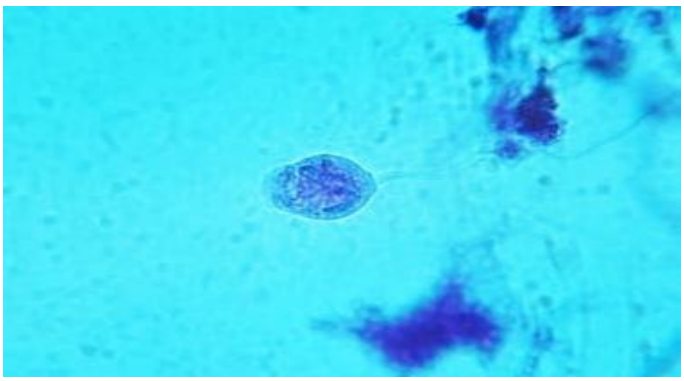


Figure 95 : *Vorticella microstoma* (400X) **(Photo personnelle, 2026)**

Aussi les têtes de vorticelles qui sont présents avec un corps de cloche équipé d'une couronne de cils **(Figure 96)**. Leur présence montre un détachement du pédoncules sous l'influence de brassage violent ou lavage de biofiltres ou bien une séparation volontaire du corps pour devenir mobile **(Canler et *al.*, 2014)**.

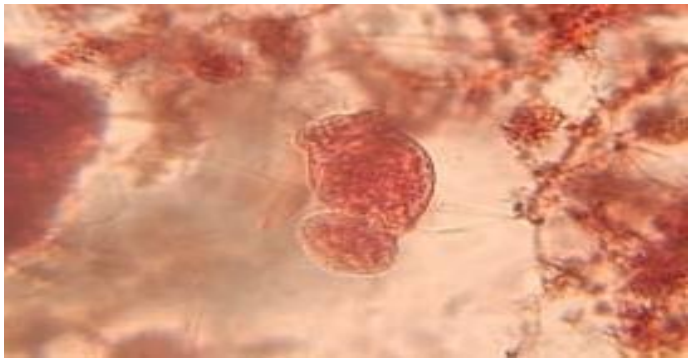


Figure 96 : *Tête de vorticelle* (400X) **(Photo personnelle, 2026)**

- **Les spirotriches**

Le genre *Stentor* **(Figure 97)**, un genre de forme de trompette, mobile généralement, il est un nageur rapide, il indique l'effluent traité de très bonne qualité **(Canler et *al.*, 2014)**.

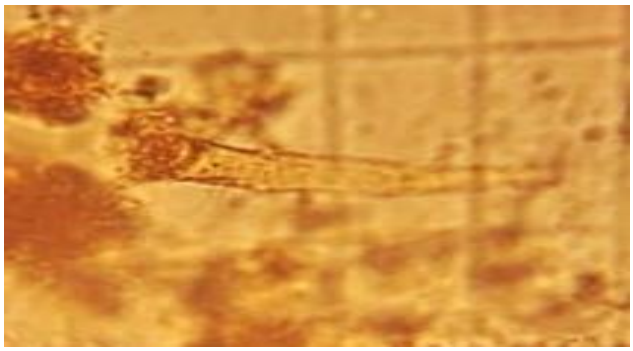


Figure 97 : Le genre *Stentor* (400X) **(Photo personnelle, 2026)**

L'espèce *Aspidisca costata*, cilié déformable, possède cinq sillons foncés sur la face dorsale **(Figure 98)**. Elle est présente sur tous les types de boues activées au fonctionnement stable mais sa présence ne donne aucune indication sur la qualité du traitement **(Canler et *al.*, 2014)**.



Figure 98 : *Aspidisca costata* (400X) **(Photo personnelle, 2026)**

Le genre *Euplotes* a une forme aplati dorso-ventralement avec cinq à sept sillons foncés sur la face dorsale et de nombreux cirrhes sur la face ventrale **(Figure 99)**. Il est présent dans des systèmes stables de moyenne à faible charge. Sa présence indique un traitement poussé du carbone et sans nitrification **(Canler et *al.*, 2014)**.



Figure 99 : Le genre *Euplotes* (400X) **(Photo personnelle, 2026)**

- **Les suctoriens**

L'espèce *Acineta foetida* a la forme d'un pyramide avec deux touffes de tentacules **(Figure 100)**. Elle se développe sur des sites dont l'effluent traité est de qualité modérée **(Canler et *al*., 2014)**.



Figure 100 : *Acineta foetida* (400X) **(Photo personnelle, 2026)**

Le genre *Podophrya* a un corps sphérique avec des tentacules répartis sur l'ensemble du corps **(Figure 101)**. Il indique l'effluent traité de qualité modérée **(Canler et *al*., 2014)**.

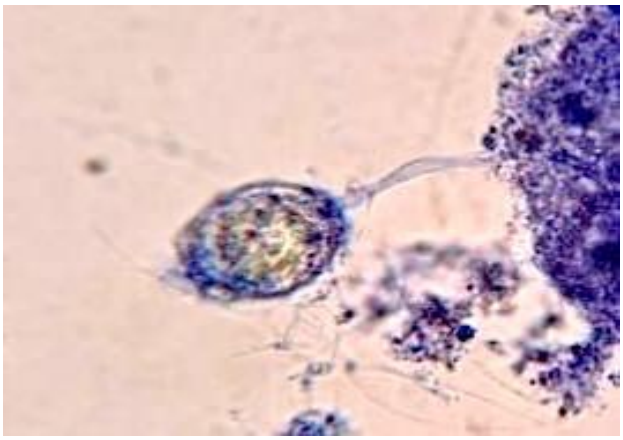


Figure 101 : Le genre *Podophrya* (400X) **(Photo personnelle, 2026)**

2.3.2. Les métazoaires

À la station d'épuration de Zeghaia Oued Endja, les métazoaires sont trouvés en très faible quantité et peu de variétés aussi. On a observé un type de rotifères et un type d'oligochètes.

2.3.2.1. Les rotifères

Rotifère Digononta est un métazoire ayant une taille variant entre 100 et 250 µm avec un corps télescopique et pied plus long que le corps, il contient deux couronnes ciliaires adjacentes à l'extrémité antérieure **(Figure 102)**. Il est présent dans les boues de faible charge et d'âge de 15 jours **(Canler et *al*., 2014)**.



Figure 102 : *Rotifère Digononta* (400X) **(Photo personnelle, 2026)**

2.3.2.2. Les oligochètes

Le genre *Aelosoma* ayant une très grande taille (supérieur à 500 µm), est un animal segmenté sous forme d'anneaux avec la possibilité de présence des tâches rouges sur le corps **(Figure 103)**. Il est présent dans une boue d'âge élevé, et dans l'installation de très faible charge **(Canler et *al*., 2014)**.



Figure 103 : Le genre *Aelosoma* (400X) **(Photo personnelle, 2026)**

2.4. Comptage des protozoaires et des métazoaires

Les tableaux ci-dessous représentent les concentrations de toutes les espèces de protozoaires et de métazoaires trouvées dans la boue activée de la station d'épuration de Zeghaia Oued Endja.

Le tableau **4** présente les résultats de l'énumération des flagellés trouvés dans la boue activée de la STEP du 4 mars jusqu'à 10 mai.

Tableau 4 : Résultats d'énumération des flagellés

Flagellés (Comptage 10^5(/ml))					
Date de prélèvement	Grands	Petites			
	Euglena	*Bodo*	*Monas globosa*	*Oicomonas socialis*	*Volvox*
4 mars	0	0	0	0	9
9 mars	0	0	0	9	3
16 mars	3	0	0	0	6
25 mars	3	6	6	0	3
5 avril	9	0	0	3	0
12 avril	0	0	3	0	0
23 avril	0	0	0	0	3
30 avril	0				
5 mai	0				
10 mai	0	0	3	0	0

Le tableau **5** présente les résultats de l'énumération des sarcodines trouvés dans la boue activée de la STEP du 4 mars jusqu'à 10 mai

Tableau 5 : Résultats d'énumération des sarcodines

Sarcodines (Comptage 10^5(/ml))						
Date de prélèvement	Thécamébiens			Amébiens		
	Clamydophrys stercorya	*Arcella*	*Euglypha*	*Mayorella cultura*	*Hartamanella vermiformis*	Grandes *Amibes*
4 mars	0	0	6	0	0	0
9 mars	0	9	9	0	0	0
16 mars	0	12	12	0	0	3
25 mars	0	18	21	0	0	9
5 avril	0	21	48	9	3	3
12 avril	0	0	33	0	3	0
23 avril	0	0	66	0	3	0
30 avril	6	0	24	0	0	0
5 mai	12	0	93	0	0	3
10 mai	0	0	72	0	0	0

Le tableau **6** présente les résultats de l'énumération des ciliés holotriches trouvés dans la boue activée de la STEP du 4 mars jusqu'à 10 mai

Tableau 6 : Résultats d'énumération des ciliés holotriches

Ciliés holotriches (Comptage 10^5(/ml))							
Date de prélèvement	*Trachelophyllum pusillum*	*Coleps hirtus*	*Litonotus*	*Chilodonella*	*Paramecium*	*Colpidium*	*Holophrya*
4 mars	0						
9 mars	0	3	0	0	3	0	0
16 mars	0	0	0	0	3	0	0
25 mars	0	3	3	9	3	3	6
5 avril	12	3	0	6	0	3	0
12 avril	15	12	0	15	0	0	3
23 avril	33	27	3	3	0	3	0
30 avril	0	18	0	0	0	0	3
5 mai	0	26	0	45	0	0	0
10 mai	0	114	0	24	0	0	3

Le tableau **7** présente les résultats de l'énumération des ciliés péritriches trouvés dans la boue activée de la STEP du 4 mars jusqu'à 10 mai

Tableau 7 : Résultats d'énumération des ciliés péritriches

Ciliés péritriches (Comptage 10^5(/ml))				
Date de prélèvement	*Vaginicola*	*Epistylis plicatilis*	*Vorticella microstoma*	*Tête de vorticelle*
4 mars	0			
9 mars	0			
16 mars	0	0	0	0
25 mars	0	0	3	9
5 avril	0	0	6	0
12 avril	0			
23 avril	6	0	0	0
30 avril	0			
5 mai	0	29	0	0
10 mai	0			

Le tableau **8** présente les résultats de l'énumération des ciliés spirotriches et ciliés suctoriens trouvés dans la boue activée de la STEP du 4 mars jusqu'à 10 mai

Tableau 8 : Résultats d'énumération des Ciliés spirotriches et ciliés suctoriens

Ciliés spirotriches et ciliés suctoriens (Comptage 10^5(/ml))					
Date de prélèvement	Spirotriches			Suctoriens	
	Stentor	*Aspidisca costata*	*Euplotes*	*Acineta foetida*	*Podophrya*
4 mars	0				
9 mars	0				
16 mars	0				
25 mars	0	3	12	3	0
5 avril	6	9	27	0	0
12 avril	6	12	18	0	0
23 avril	0	6	9	0	0
30 avril	0	24	3	0	0
5 mai	0	66	0	0	0
10 mai	0	12	0	0	3

Le tableau **9** présente les résultats de l'énumération des métazoaires trouvés dans la boue activée de la STEP du 4 mars jusqu'à 10 mai

Tableau 9 : Résultats d'énumération des métazoaires

Métazoaires (Comptage 10^5(/ml))		
Date de prélèvement	*Rotifères* *Digononta*	*Oligochètes* *Aelosoma*
4 mars	0	
9 mars	0	
16 mars	0	
25 mars	0	
5 avril	0	12
12 avril	0	3
23 avril	0	3
30 avril	3	3
5 mai	0	
10 mai	0	

Les pourcentages de toutes les espèces trouvées sont illustrés dans les figures **104-113** sous forme des diagrammes :

2.4.1. Les résultats de 4 mars

Le diagramme ci-dessus **(Figure 104)** montre la présence importante de *Volvox* avec un pourcentage de 60%, plus que le moitié des espèces, ce qui indique une boue peu oxygénée avec une forte charge aussi l'entrée de substances fermentés cibles **(Madoni, 1994)**.

Euglypha est présente avec 40% indiquant une bonne qualité de traitement, une bonne nitrification avec une faible charge **(Madoni, 1994; Foissner, 2016)**.

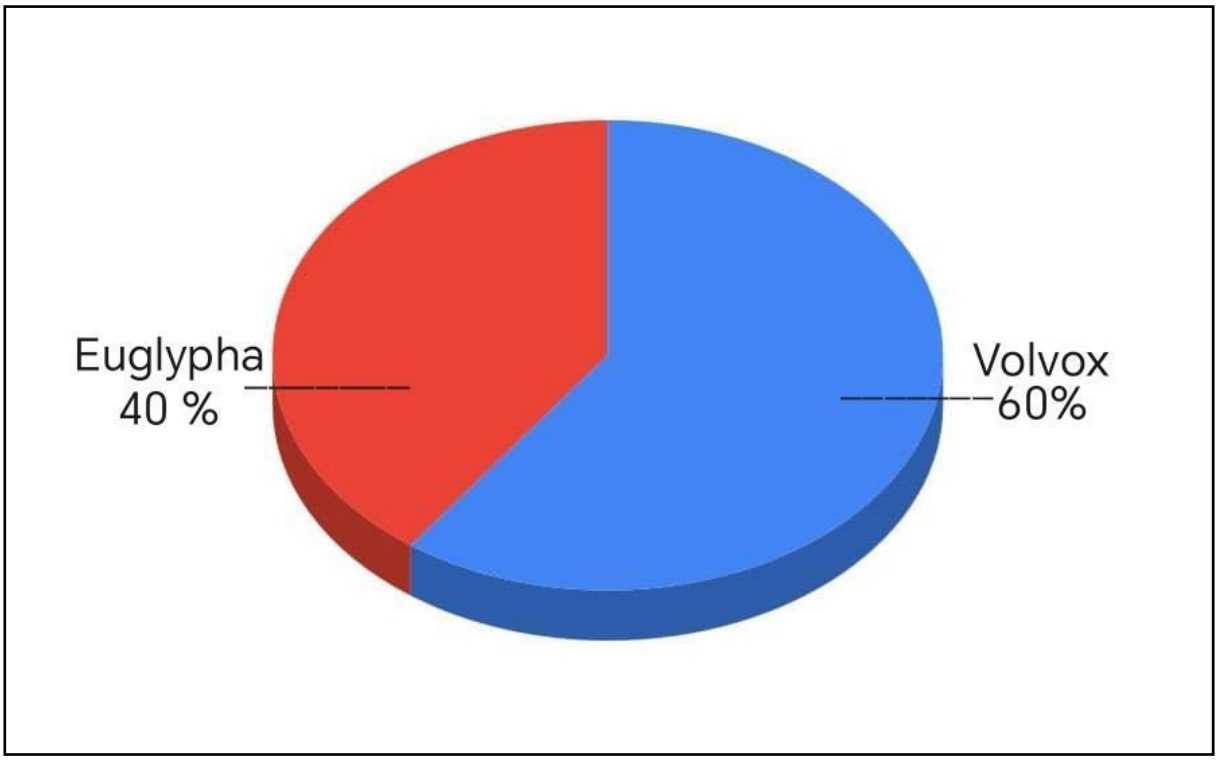


Figure 104 : Diagramme des espèces présentes dans la boue activée dans le 4 mars 2026

2.4.2. Les résultats de 9 mars

Le diagramme ci-dessous **(Figure 105)** montre la présence de trois espèces co-dominantes. *Euglypha*, *Arcella* et *Oicomonas sosialis* sont trouvés en proportions similaires (25%) indiquant le bon fonctionnement, la bonne qualité de traitement et la bonne nitrification pour *Euglypha* et *Arcella* ainsi qu'une forte charge et faible oxygénation pour *Oicomonas socialis* **(Madoni, 1994; Foissner, 2016)**.

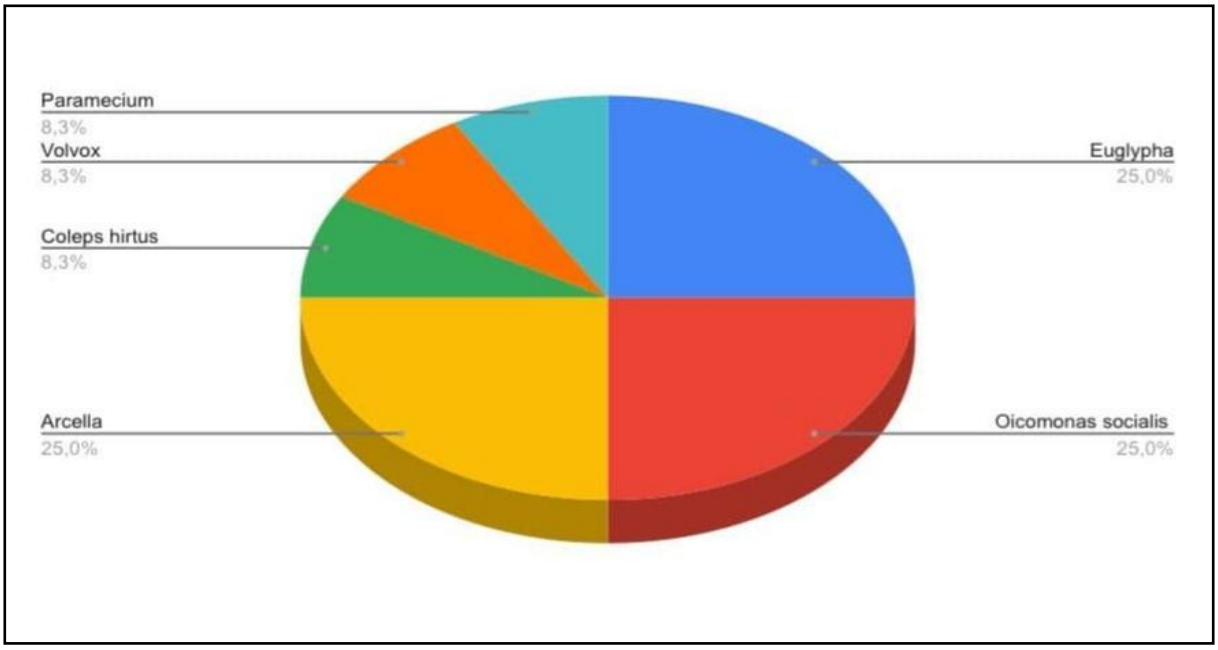


Figure 105 : Diagramme des espèces présentes dans la boue activée le 9 mars 2026

2.4.3. Les résultats de 16 mars

Le diagramme ci-dessous **(Figure 106)** montre que les genres *Euglypha* et *Arcella* sont co-dominants avec des proportions égales à 30, 8% ce qui témoigne l'efficacité de traitement avec une bonne nitrification **(Madoni, 1994; Foissner, 2016)**. Suivant par le genre *Volvox* avec 15, 4% indiquant une forte charge avec faible à moyenne oxygénation **(Madoni, 1994)**.

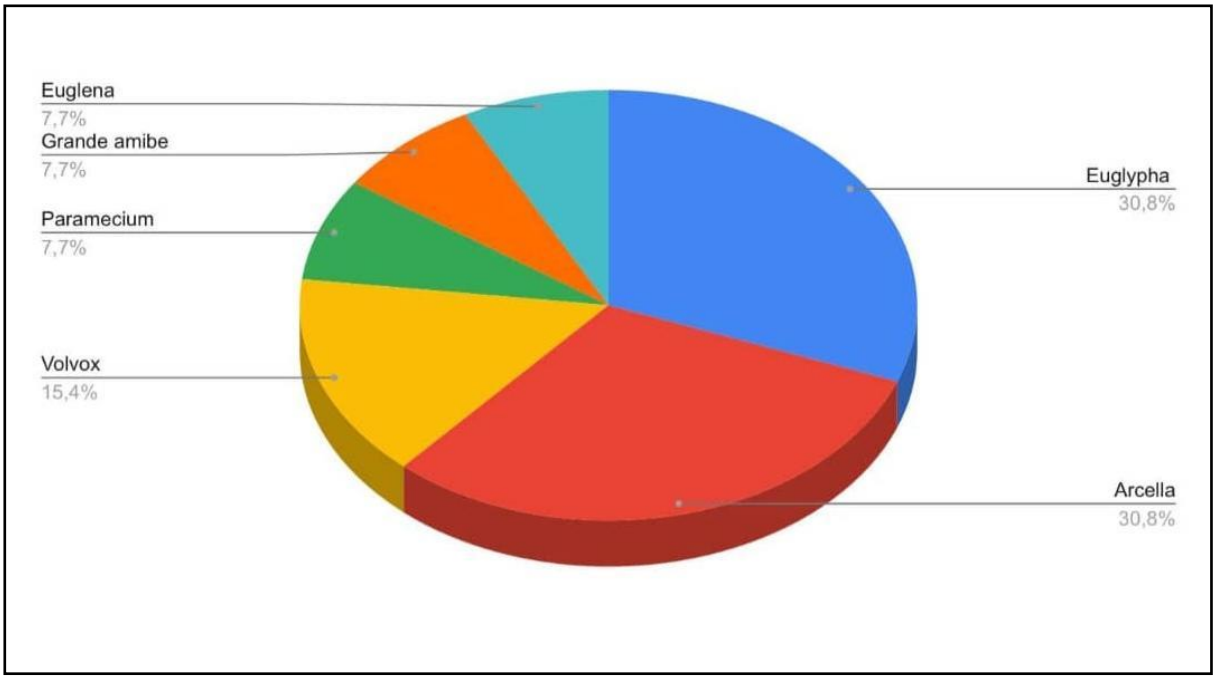


Figure 106 : Diagramme des espèces présentes dans la boue activée le 16 mars 2026

2.4.4. Les résultats de 25 mars

La dernière semaine de mars est riche avec plusieurs espèces **(Figure 107)**, mais la dominance était attribuée à *Euglypha* (17, 1%) puis *Arcella* (14, 6%) indiquant une bonne nitrification et un bon traitement **(Madoni, 1994; Foissner, 2016)**.

La présence des flagellés tels que *Bodo* (5%), *Monas* (5%), *Volvox* (2.5%) et *Euglena* (2,5%) montre une forte charge organique et une boue faiblement oxygénée **(Madoni, 1994).**

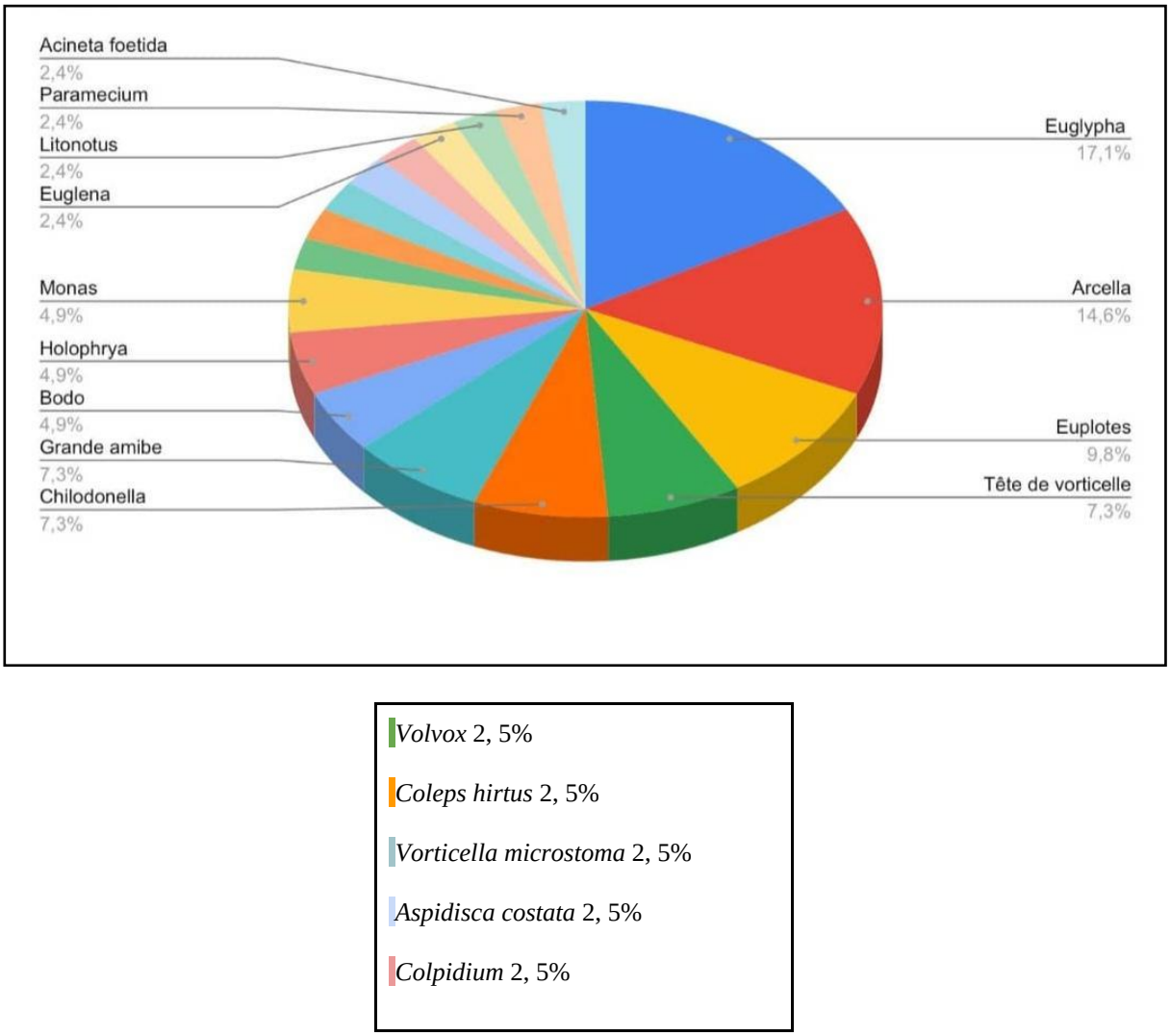


Figure 107 : Diagramme des espèces présentes dans la boue activée le 25 mars 2026

2.4.5. Les résultats de 5 avril

Le diagramme ci-dessous **(Figure 108)** montre que *Euglypha* (26, 2%) et *Arcella* (11,5%) sont les genres les plus dominants indiquant un bon traitement et une bonne nitrification **(Madoni, 1994; Foissner 2016)**.

Il existe aussi un genre des métazoaires, oligochètes : *Aelosoma* (6, 6%). Ils sont très rares dans les boues activées et indiquent une charge très faible et la présence de nitrates **(Da Motta, 2001)**.

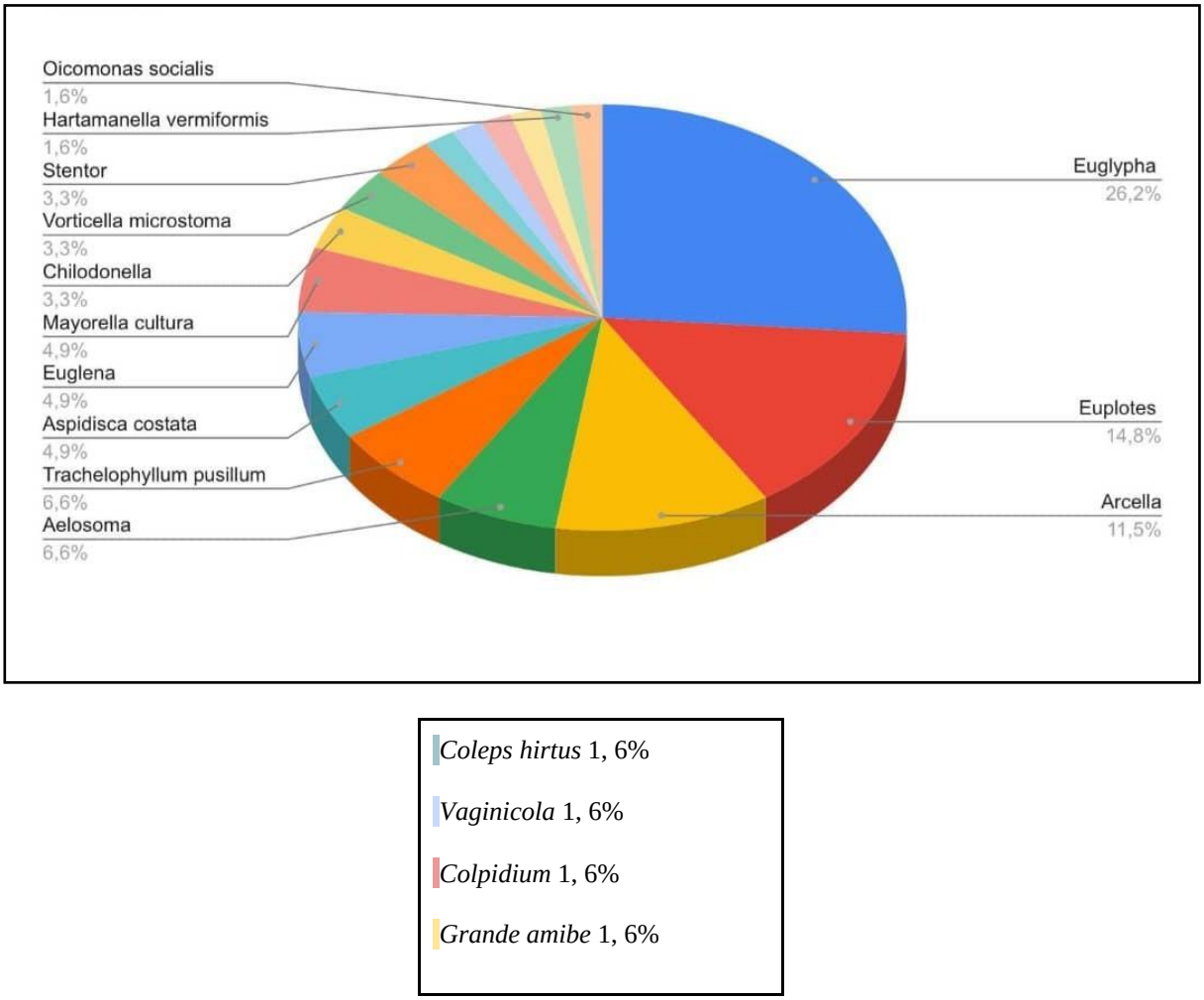


Figure 108 : Diagramme des espèces présentes dans la boue activée le 5 avril 2026

2.4.6. Les résultats de 12 avril

Le diagramme ci-dessous **(Figure 109)** montre une prédominance de *Euglypha* (26, 8 %), suivie par *Euplotes* (14, 6 %), *Chilodonella* et *Trachelophyllum pusillum* (12, 2 % chacun). La présence importante de *Euglypha* est liée à une charge organique faible, une bonne oxygénation et des conditions favorables à la nitrification **(Madoni, 1994; Foissner, 2016)**.

La présence de *Euplotes*, *Chilodonella* et *Trachelophyllum pusillum*, appartenant aux ciliés, traduit une bonne diversité biologique, caractéristique d'une charge organique optimale **(Richard, 1989)**. De plus, *Chilodonella* est considérée comme un indicateur d'une bonne qualité de l'effluent **(Foissner, 2016)**.

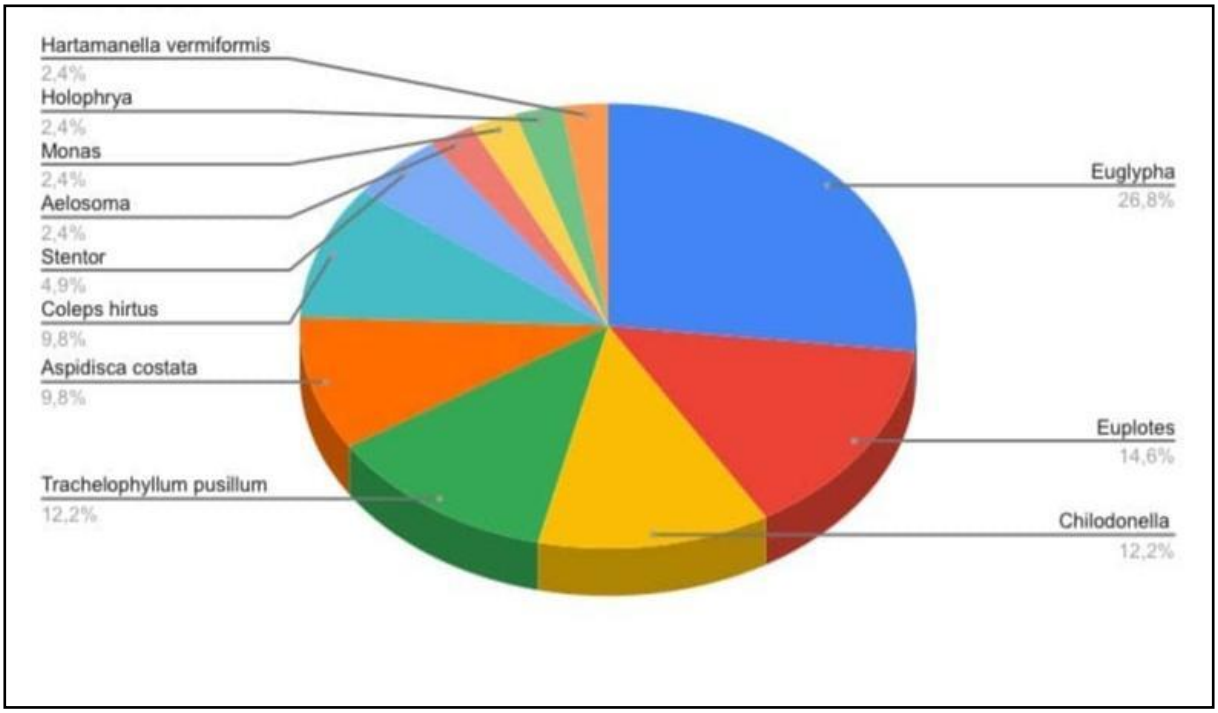
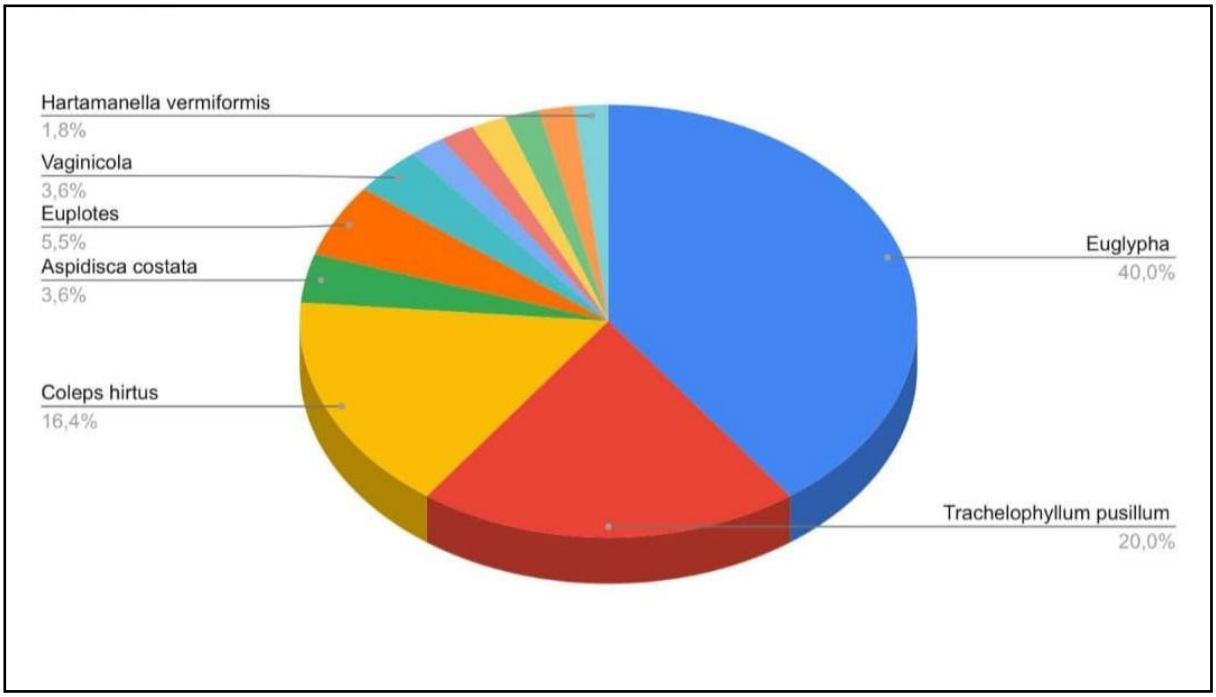


Figure 109 : Diagramme des espèces présentes dans la boue activée le 12 avril 2026

2.4.7. Les résultats de 23 avril

D'après la figure 110, La communauté est constituée principalement de *Euglypha* (40%) et de ciliés nageurs représentés par *Trachelophyllum pusillum* (20%), *Coleps hirtus* (16, 4%) et *Euplotes* (5, 5%). La présence importante de *Euglypha* est associée à une charge faible, une boue diluée et une bonne nitrification**(Madoni, 1994; Foissner, 2016)**. La présence simultanée de *Euglypha* et de plusieurs ciliés témoigne d'une bonne diversité biologique, caractéristique d'une charge organique optimale **(Richard, 1989)**.



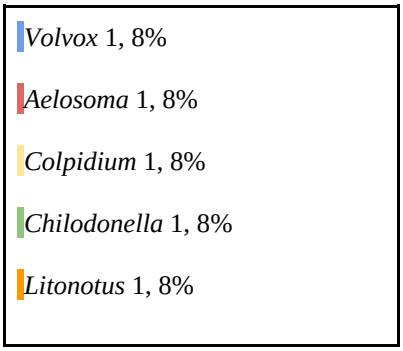


Figure 110 : Diagramme des espèces présentes dans la boue activée le 23 avril 2026

2.4.8. Les résultats de 30 avril

D'après la figure 111, La communauté observée est caractérisée par une répartition relativement équilibrée entre *Euglypha* (28, 6 %) et les ciliés (*Aspidisca costata* 28, 6%, *Coleps hirtus* 21, 4%, *Euplotes* 3, 6% et *Holophrya* 3, 6%), sans dominance nette d'un groupe particulier. La présence de *Euglypha* est associée à une faible charge organique, une bonne oxygénation et des conditions favorables à la nitrification **(Madoni, 1994; Foissner, 2016)**.

La présence importante de *Aspidisca* et *Coleps*, indique un fonctionnement stable des boues activées et une bonne qualité de l'effluent **(Foissner, 2016)**, tandis que la diversité observée traduit une charge organique faible à modérée **(Richard, 1989)**.

La présence de rotifères (*Digononta*, 3, 6 %) témoigne un bon fonctionnement de la station, favorisant la dégradation de la microflore et l'oxygénation du milieu **(Gerardi et Horsfall, 1995)**.

Aeolosoma présente aussi (3, 6%). Il indique une charge très faible et la présence de nitrates **(Da Motta, 2001)**.

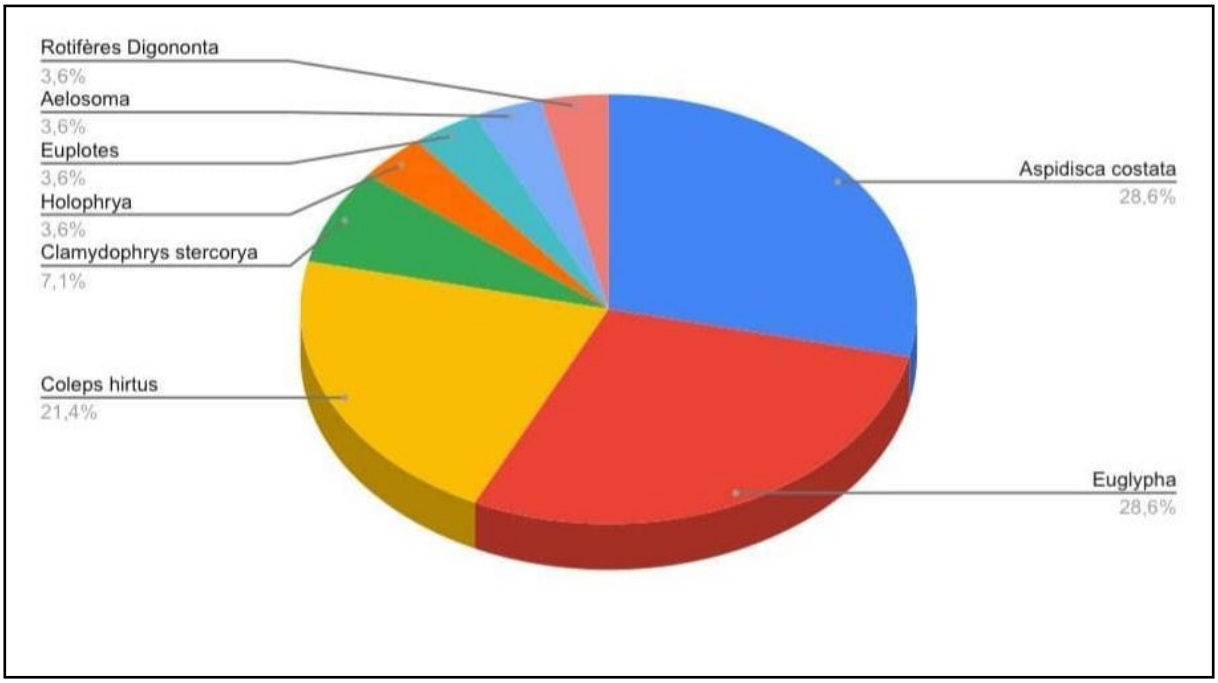


Figure 111 : Diagramme des espèces présentes dans la boue activée le 30 avril 2026

2.4.9. Les résultats de 5 mai

La communauté observée est dominée par les ciliés représentés par *Epistylis plicatilis* (21, 5 %), *Coleps hirtus* (19, 3 %), *Aspidisca costata* (16, 3 %), *Chilodonella* (11, 1 %), *Trachelophyllum pusillum* (5, 2 %), ainsi que *Euglypha* (23%) **(Figure 112)**.

La présence de *Chlamydophrys stercorya* (3 %) et de *grandes amibes* (0, 7 %) contribue également à la diversité des protozoaires observée.

La dominance des ciliés traduit une bonne diversité biologique, caractéristique d'un fonctionnement stable et d'une charge organique optimale **(Richard, 1989)**.

La présence de *Aspidisca*, *Coleps* et *Chilodonella* est associée à une bonne qualité de l'effluent et à des conditions favorables à la nitrification et à l'élimination de la matière organique **(Foissner, 2016)**.

La présence de *Euglypha* indique une faible charge organique, une bonne oxygénation et des conditions favorables à la nitrification **(Madoni, 1994; Foissner, 2016)**.

Enfin, la coexistence de ces différents groupes de protozoaires suggère un système stable soumis à une charge organique faible à modérée, sans surcharge importante **(Richard, 1989; Madoni, 1994)**.

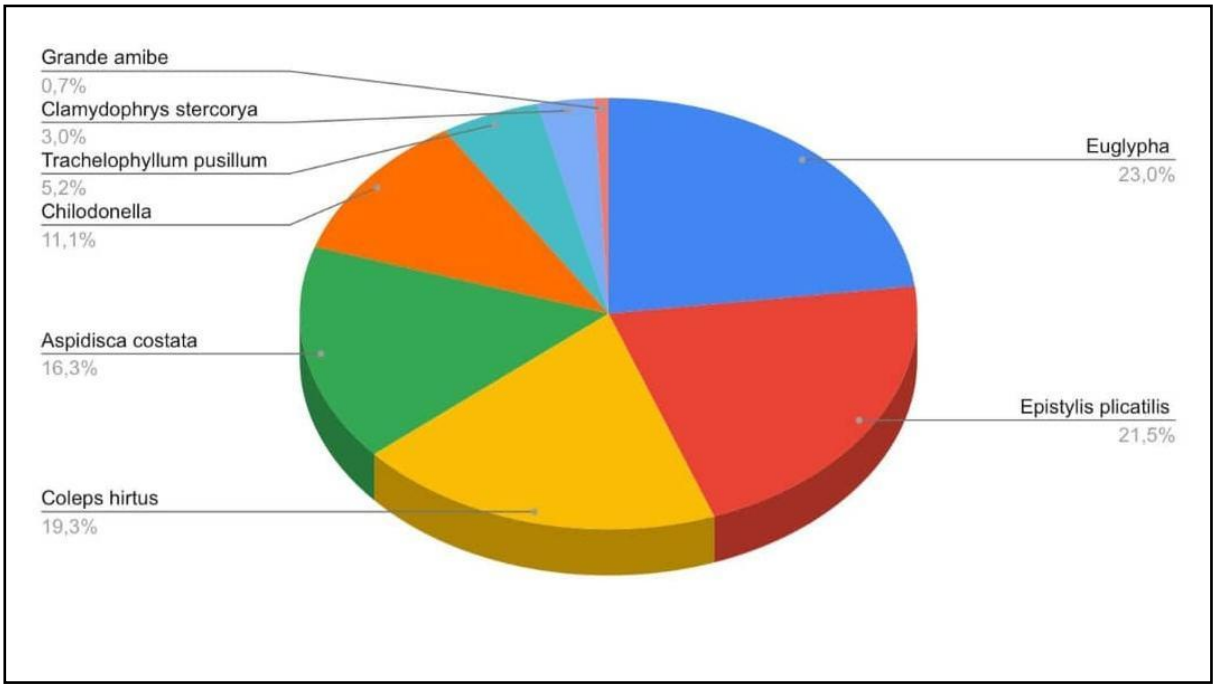


Figure 112 : Diagramme des espèces présentes dans la boue activée le 5 mai 2026

2.4.10. Les résultats de 10 mai

La communauté observée est dominée par les ciliés nageurs, *Coleps hirtus* (50 %), avec la présence de *Euglypha* (31, 6 %) **(Figure 113).**

La dominance des ciliés nageurs traduit une charge organique élevée et des conditions de fonctionnement moins favorables du système **(Madoni, 1994)**.

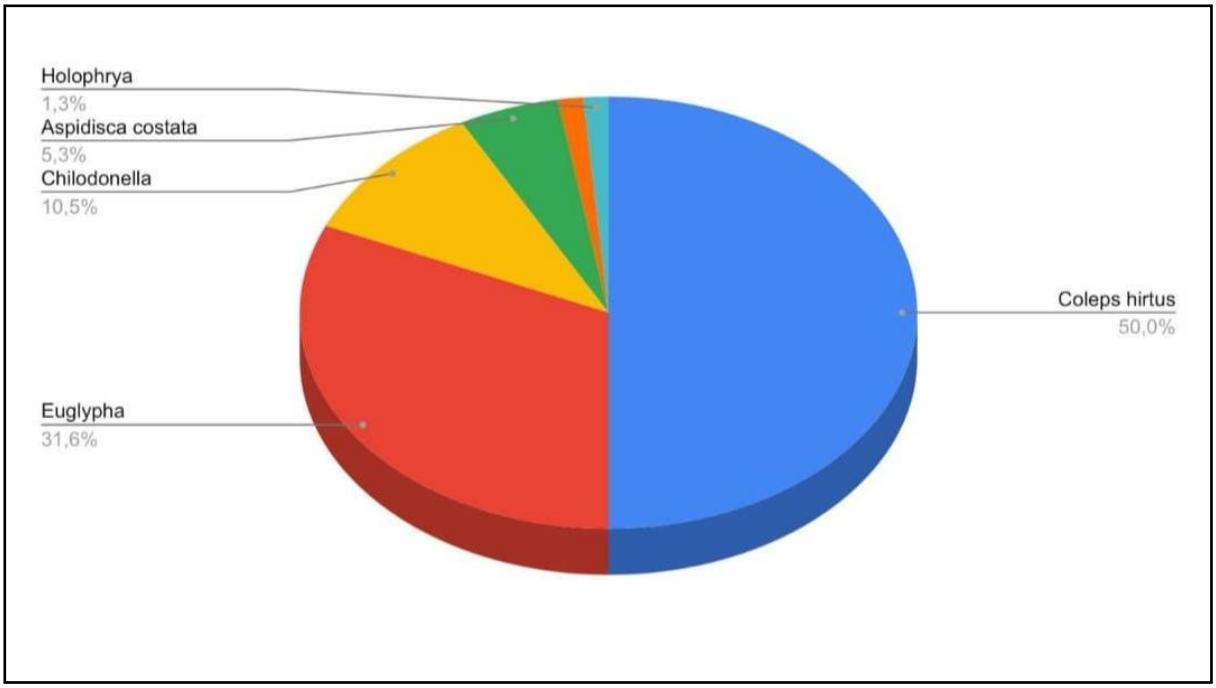


Figure 113 : Diagramme des espèces présentes dans la boue activée le 10 mai 2026.

Conclusion

Conclusion

Le traitement des eaux usées constitue un processus essentiel dans la vie quotidienne de l'être humain. Il vise à protéger la santé publique, et également à préserver le milieu récepteur et à protéger l'environnement contre toutes formes de pollution.

L'étude réalisée au niveau de la STEP de Zeghaia Oued Endja nous a permis de réaliser une évaluation précise du fonctionnement de la station, sur le plan microbiologique et physico-chimique, en adoptant une méthodologie combinant des analyses physico-chimiques réalisées dans le laboratoire de la STEP et des observations microscopiques approfondies.

Dans le cadre de notre étude réalisée à la STEP de Zeghaia Oued Endja nous avons trouvé: 5 espèces de flagellés telles que *Euglena, Bodo, Monas globosa, Oicomonas socialis* et *Volvox.* 5 espèces de sarcodines telles que *Clamydophrys stercorya, Arcella vulgaris, Euglypha, Hartamanella vermiformis, Mayorella cultura* et la *grande amibe;* avec la dominance de *Euglypha* et *Arcella vulgaris*. Les quatre familles de ciliés sont présents : les holotriches comme *Trachelophyllum pusillum, Coleps hirtus, Litonotus, Chilodonella, Paramecium, Colpidium* et *Holophrya.* Les péritriches comme *Vaginicola, Epistylis plicatilis, Vorticelles à pédoncule court* et *les têtes de vorticelles.* Les spirotriches comme *Stentor, Aspidisca costata* et *Euplotes.* Les suctoriens comme *Acineta foetida* et *Podophrya.* Le nombre total des ciliés est de 16 avec la dominance de *Trachelophyllum pusillum, Coleps hirtus* et *Aspidisca costata.* Et enfin les Métazoaires trouvées sont : *Rotifères Digononta* et *Oligochètes Aelosoma,* ils sont rares dans la boue activée.

L'apparition de ces espèces dans la boue activée de la station donne des informations sur la qualité de traitement de la STEP. D'après les résultats obtenus la qualité du traitement est performante, les conditions de fonctionnement de l'installation sont bonnes et les eaux traitées sont conformes aux normes algériennes de rejet. Nos résultats témoignent une bonne aération et une bonne nitrification ce qui est confirmé par les paramètres physico-chimiques (pH, température, oxygène dissous, conductivité, MES, DBO5, DCO, nitrates, nitrites et azote ammoniacal).

Par ailleurs, face à l'augmentation progressive de la mousse observée dans les bassins d'aération, il serait pertinent de mener une étude ciblée sur les bactéries filamenteuses potentiellement responsables de ce phénomène. Cette démarche permettrait d'identifier les espèces impliquées, de mieux comprendre les conditions favorisant leur prolifération et de définir des actions correctives appropriées afin d'améliorer la stabilité du procédé ainsi que les performances globales de la station.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

AFNOR, 1994. Association Française de Normalisation. Qualité de l'eau. Paris

Attab S., 2011. Amélioration de la qualité microbiologique des eaux épurées par boues activées de la station d'épuration Haoud Berkaoui par l'utilisation d'un filtre à sable local. Mémoire de magister. Faculté de Sciences de la Nature et de la Vie. Université Kasdi Merbah Ouargla

Aussel H., Le Bâcle C. et Dornier G., 2004. Le traitement des eaux usées. ED 5026. Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles (INRS).

Badi H., 2013. Influence de papyrus et de tamarix sur l'élimination de phosphate et de l'azote des eaux usées urbaines. Mémoire de Master en Hydraulique urbaines. Université Mohamed Khider Biskra, Algérie.

Bakiri Z., 2014. Analyse et optimisation des eaux usées urbaines par boues activées : Application au décanteur secondaire. Mémoire de master, Université Ferhat Abbas Sétif.

Bali M., 2024. Traitement des eaux usées. Institut Supérieur des Sciences et Techniques des Eaux, Université de Gabès, Tunisie, 53 p.

Benfreha Benyelles M., 2022. Étude de problèmes de dysfonctionnement d'une station d'épuration des eaux usées liés à la nature de la flore microbienne des boues activées. Thèse de doctorat, Université Aboubekr Belkaid, Tlemcen.

Benyahya M., Bohatier J., Laveran H., Senaud J. et Ettayebi M., 1998. Les virus deseaux usées et leur élimination au cours des traitements des effluents pollués. Annee biologique, Vol (37) Issue (2), pp. 95-105. Elsevier, Paris.

Berland J., Boutin C., Molle P. et Cooper P., 2001. Guide de procédés extensifs d'épuration des eaux usées adaptées aux petites et moyennes collectivités. Office des publications officielles des Communautés européennes. Luxembourg.

Berland J.M., 2024. Boues activées. Traitement des eaux résiduaires urbaines - filières intensives. Techniques de l'ingénieur.

Besnault S., Pastel Y., Prost-Boucle S., Mertz G., Choubert J.M. et Lombard-Latune R., 2024. Disinfection by small wastewater treatment plants for reuse and other applications. Euro-Mediterranean Conference on Wastewater Reuse. Montpellier, France. Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement.

Bitton G., 2011. Wastewater microbiology (4th ed.). Wiley-Blackwell.

Boeglin J.C. et Roubaty J.L., 2007. Pollution industrielle de l'eau : caractérisation, classification, mesure. Techniques de l'ingénieur, Réf. G1210 v2.

Bontoux A., 1993. Introduction à l'étude des eaux douces, eaux naturelles, eaux usées, eaux de boisson. Edition technique et documentation lavoisier. 166p

Canler J.P. et Perret J.M., 2013. La réduction de boues par voie biologique par le procédé MycET. Unité de recherche Milieux Aquatique, Ecologie et Pollutions. Centre de Lyon.

Canler J.P., Perret J.M. et Choubert J.M., 2007. Le traitement du carbone et de l'azote pour des stations d'épuration de type boues activées confrontées à de fortes variations de charge et à de basses températures. Document technique FNDAE n°34, 107 p. Fonds National pour le Développement des Adductions d'Eau.

Canler J.P., Perret J.M., Cotteux E. et Duchène P., 2014. Aide au diagnostic des stations d'épuration par l'observation microscopique des boues activées. Edition, Quae, France.

Canler J.P., Perret J.M., Duchène P. et Cotteux E., 1999. Aide au diagnostic des stations d'épuration par observation microscopique des boues activées. Cemagref édition.

Cardot C. et Gilles A., 2013. Analyse des eaux-Réglementation, analyses titrimétriques et spectrophotométriques, statistiques - Cours et exercices corrigés . Génie de l'environnement. Édition Ellipses, 312p.

Cardot C., 2001. Techniques appliquées au traitement de l'eau. Édition Ellipses. Paris.

Cavalla M., 2014. Atlas de microbiologie. Biotechnologie-ST2S, académie de Lyon.

CEAEQ, 2006. Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, recherche des salmonelles : méthode présence/absence MA. 700 – SAL-PA 1.0, ministère du développement durable, de l'environnement, de la faune et des parcs du Québec, 25p.

Chahal C., van den Akker B., Young F., Franco C., Blackbeard J., et Monis P., 2016. Pathogen and particle associations in wastewater : Significance and implications for treatment and disinfection processes. Advances in Applied Microbiology, 97, 63–119.

Chocat B., 1997. Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et assainissement. Édition technique et documentation. Paris. 1124p

Choubert J.M., 2002. Analyse et optimisation du traitement de l'azote par boue activée à basse température. Thèse de doctorat. Université Louis Pasteur Strasbourg.

Crabbé D. et Lecomte M., 2014. Tout ce qui vit dans l'eau, courante, stagnante ou salée. Association des Mycologues Francophones de Belgique.

Crini G. et Badot P.M., 2007. Traitement et épuration des eaux industrielles polluées : Procédés membranaires, bioadsorption et oxydation chimique. Édition presse universitaire de Franche-Comté.

Curds C.R. et Cockburn A., 1970. Protozoa in biological sewage-treatment processes. A survey of the protozoan fauna of British percolating filters and activated-sludge plants. Water Research, 4(3), 225–236.

Cuziat J., 2011. Cellule de thoma. Laboratoire de biologie médicale autonome dans un pays en développement. Biologie Tropicale

Cydzik-Kwiatkowska A., Podlasek M., Nosek D. et Jaskulska B., 2018. Treatment efficiency and characteristics of biomass in a full-scale wastewater treatment plant with aerobic granular sludge. Journal of Ecological Engineering, 19(4), 95–102.

Da Motta M., 2001. Applications de l'analyse d'image à la caractérisation de la microfaune de station d'épuration des eaux usées. Thèse doctorat de l'institut national polytechnique de Lorraine.

Dechesne M., Soyeux E., Loret J.F., Westrell T., Stenström T.A., Gornik V., Koch C., Exner M., Stanger M. et Agutter P., 2006. Pathogens in Source Water, Microbiological Risk Assessment : A Scientific Basis for Managing Drinking Water Safety from Source to Tap. Microrisk European Project; Nieuwegein, The Netherlands. pp. 1–42.

Deronzier G. et 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. Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires rurales. FNDAE n° 29. Document technique.

Deronzier G., Schétrite S., Racault Y., Canler J.P., Liénard A., Héduit A. et Duchène P., 2001. Traitement de l'azote dans les stations d'épuration biologique des petites collectivités. Ministère de l'Agriculture et de la Pêche. FNDAE n° 25. Document technique

Dragesco J., 1974. Introduction aux protozoaires. horizon Documentation ird, 40p.

Dugniolle E., 1980. L'assainissement des eaux résiduaires domestiques. Centre scientifique et technique de la construction, Bruxelles, Belgique. 15(3), 44–52.

Eikelboom D.H., 2000. Process Control of Activated Sludge Plants by Microscopic Investigation. IWA Publishing.

Faby J.A et Brissaud F., 1997. L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation, Office international de l'eau. France.

Fan H., Qi L., Liu G., Zhang Y., Fan Q. et Wang H., 2017. Aeration optimization through operation at low dissolved oxygen concentrations : Evaluation of oxygen mass transfer dynamics in different activated sludge systems. Journal of Environmental Sciences.

Ferguson C.M., Charles K. et Deere D.D., 2008. Quantification of microbial sources in drinking-water catchments. Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.

Fléchet G., 2017. Quand les écosystèmes saturent. CNRS Le Journal.

Foissner W., 2016. Protists as bioindicators in activated sludge : Identification, ecology and future needs. European Journal of Protistology, 55, 75–94.

Franck R., 2002. Analyse des eaux, aspects réglementaires et techniques. Edition Scérén CRDP Aquitaine, Bordeaux, p 165-260.

Gaid A., 1984. Épuration biologique des eaux usées urbaines tome I, édition OPU, Alger.

Gao F., Li C., Yang Z.H., Zeng G.M., Mu J., Liu M. et Cui W., 2016. Removal of nutrients, Organic matter, and metal from domestic Secondary effluent through microalgae cultivation In a membrane photobioreactor. J Chem. Technol. Biotechnol., 91, 2713 – 2719

Garnier C., 2005. Etude chimique et microbiologique des exopolymères de boue activée : Élément de compréhension du fonctionnement des stations d'épuration. Thèse de doctorat, Université de Lorraine.

Gerardi M.H. et Horsfall F.L., 1995. Wastewater biology : the microlife, A Special Publication, Water Environment Federation, Virginie. 196p

Glosclaude G., 1999. L'eau usages et polluants. Tome 2. Éditions Quae.

Gu A. Z., Saunders A. M., Neethling J. B., Stensel H. D. et Blackall L. L., 2005. Investigation of PAOs and GAOs and their effects on EBPR performance at full-scale wastewater treatment plants in U.S.Proceedings of the Water Environment Federation, (14), 1985–1998.

Hammadi L., Ponton A. et Belhadri M., 2008. Effet de traitement thermique sur le comportement physico-chimique et rhéologique des boues activées de station d'épuration. Revue des Energies Renouvelables, 11(3), 465-472.

Harmel R.D., Karthikeyan Gentry R. et Srinivasan, T.R., 2010. Effects of agricultural management, land use and watershed scale on E.coli concentrations in runoff and streamflow. Trans. ASABE. Vol. 53, Iss : 6, pp 1833-1841.

Häuslerova J., 1979. The growth of micromycetes in activated sludge media.Acta hydrochim. Hydrobiol 4(2) : 137-152.

James E. et Joyce M. 2004. Assessment and management of watershed microbial contaminants. Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.

Jenkins D., Richard M.G. et Daigger G.T., 1986. Manual on the causes and Control of activated sludge bulking and foaming. Water research Commission, Pretoria.

Jenkins D., Richard M.G. et Daigger G.T., 2003. Manual on the causes and control of activated sludge bulking, foaming, and other solid separation problems. 3e édition, Lewis publisher.

Journal officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire (JORADP), 2006. Décret Exécutif n° 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 Avril 2006.

Kahim I. et Idabdellah H., 2013. L'impact des dysfonctionnements rencontrés au niveau des bassins d'aération de station d'épuration et de réutilisation des eaux usées de Marrakech sur la qualité des eaux traitées. Université Cadi Ayyad.

Kargi F. et Uygur A., 2002. Nutrient removal performance of a sequencing batch reactor as a function of the sludge age. Enzym. Microb. Technol, 31, 842–847.

Klott R. et Atkinson B., 2003. Activated sludge systems. In Biochemical Engineering and Biotechnology Handbook. 3rd ed.. New York : Stockton Press.

Kokina K., Mezule L., Gruskevica K., Neilands R., Golovko K. et Juhna T., 2022. Impact of Rapid pH Changes on Activated Sludge Process. Applied Sciences, 12(11), 5754.

Lacroix S., 2008. Étude des mécanismes physiologiques et moléculaires de la filamentation De Sphaerotilus natans, bactérie modèle du foisonnement invasif en boues activées. Thèse de doctorat, AgroParisTech.

Le Roux J., 2025. Pollution des eaux : micropolluants organiques. Laboratoire Eau Environnement et Systèmes Urbains (LEESU), Université Paris-Est Créteil.

Leteurtre L., 2025. Les impacts de la pollution du cycle de l'eau sur les écosystèmes aquatiques et la santé humaine. Surfrider Foundation Europe.

Li B. et Wu G., 2014. Effects of Sludge Retention Times on Nutrient Removal and Nitrous Oxide Emission in Biological Nutrient Removal Processes. International Journal of Environmental Research and Public Health, 11(4), 3553–3569.

Losno R., 1989. Chimie d'éléments minéraux en traces dans les pluies méditerranéennes. Thèse de doctorat, Université Paris-Diderot, France.

Madoni P., 1994 Microfauna biomass in activated sludge and biofilm, Water Science and Technology, 29 (7).

Madoni P., 1994. A Sludge Biotic Index (SBI) for the Evaluation of the Biological Performance of Activated Sludge Plants Based on the Microfauna Analysis. Water Research, 28, 67-75.

Madoni P., 1994. La microfaune dans l'analyse de la qualité biologique des boues activées. Agac di Reggio Emilia. Université des études de Parme, Parme, Italie.

Maktoof A. A. et AL-Enazi M. S., 2020. Use of two plants to remove pollutants in wastewater in constructed wetlands in southern Iraq. Egyptian Journal of Aquatic Research, 46(3), 227–233.

Marsalek J. et Rochfort Q.J., 2004. Urban wet-weather flows : Sources of fecal contamination impacting on recreational waters and threatening drinking-water sources. J. Toxicol. Environ. Health A.

Metahri M.S., 2012. Élimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes : cas de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou. Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie.

Metcalf et Eddy., 2003. Wastewater Engineering : Treatment and Reuse, McGraw-Hill. 4th ed.

Metcalf et Eddy., 2014. Wastewater Engineering : Treatment and Resource Recovery, 5e ed., McGraw-Hill.

Modrow S., Falke D., Truyen U. et Schätzl H., 2013. Viruses : definition, structure, classification. In Molecular Virology (pp. 17–30). Springer.

Nataolie A., 2002. Étude des bactéries Clostridium Sulfito –réducteur et leur rôle dans la microbiologie clinique.Communication présentée au Congrès international de microbiologie, Paris, France.

Nedelec Adrien A., 2008. MEMOBIO : site internet d'aide à la réalisation et l'interprétation des analyses de biologie médicale. Mémoire de diplôme d'études spécialisées en biologie médicale, Université Claude. Bernard Lyon 1, Faculté de Pharmacie

OMS, 2005. Organisation Mondiale de la Santé. Étude parasitologie médicale. technique de base pour le laboratoire.

ONA, 2015. Office national d'assainissement**.** Document technique

ONA, 2021. Office national de l'assainissement. Zone de Constantine. Unité de Mila. Monographie.

Osmani W., 2013. Évaluation des performances de la station d'épuration des eaux usées de la commune de Baraki. Mémoire de master en biologie. Université Saad Dahlab Blida.

Pai T.Y., Wan T.J., Tsai Y.P., Tzeng C.J., Chu H.H., Tsai Y.S. et Lin C.Y., 2010. Effect of sludge retention time on nitrifiers biomass and kinetics in an anaerobic/oxic process. Clean Soil Air Water, 38, 167–172.

Pandolfi D., **2006.**Caractérisation morphologique et physiologique de la biomasse des boues activées par analyse d'image. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique (INP) de Lorraine, France.

Pedroni P., Davison J., Beckert H., Bergman P. et Benemann J., 2001. A proposal to establish an International network on biofixation of CO2 and Greenhouse gas abatement with microalgae. Journal of energy and environmental research., 1(1), 136-150

Perera P. et Baudot B., 2001. Procédés extensifs d'épuration des eaux usées adaptés aux petites et moyennes collectivités (Guide). Office des publications officielles des Communautés européennes. ISBN 92-894-1690-4.

Pilet C., 1983. Bactériologie médicale et vétérinaire, systématique bactérienne.

Ratsak C.H., Maarsen K.A. et Kooijman S., 1996. Effect of protozoa on carbon Mineralization in activated sludge. Journal of water research

Ray M.C., 2018. Bleu de méthylène : qu'est-ce que c'est ? Futura Sciences.

Rejsek F., 2002. Analyses des eaux : Aspect réglementaire et technique de l'analyse des eaux usées et des boues d'épuration. Séries science et technique de l'environnement, Edition Scérén CRDP Aquitaine. Bordeaux.

Richard M., 1989. The hench sheet monograph on activated sludge microbiology, The Water Pollution Control Federation, Virginia.

Rodier J., Bazin C., Chanbon P., Broutin J.P., Champsaur H. et Rodi L., 1996. L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8éme Ed. Dunod, PARIS

Rodier J., Legube B. et Merlet N., 2005. L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, chimie, physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats. Ed. Dunod, Paris, 1384 p.

Rodier J., Legube B. et Merlet N., 2009. L'analyse de l'eau, 9éme édition, Dunod, Paris

Saggai M., 2004. Contribution à l'étude d'un Système d'épuration à plantes macrophytes pour les eaux usées de la ville. Mémoire Magister en agronomie saharienne. Université de Kasdi Merbah Ouargla.

Satin M. et Selmi B., 2006. Guide Technique de l'Assainissement 3ème Édition, Le Moniteur, 2006

Satin M., Selmi B. et Bourrier R., 2010. Guide technique de l'assainissement 4ème édition. Institut national de recherche et de sécurité.

Selvakumar A. et Borst M.J., 2006. Variation of microorganism concentrations in urban stormwater runoff with land use and seasons. J. Water Health.

SIAAP : Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne.

STEP de Zeghaia Oued Endja. Station d'épuration des eaux usées de Zeghaia Oued Endja Wilaya de Mila. Cahier de charge.

Stricker A.E., et Héduit A., 2010. Phosphore des eaux usées : état des lieux et perspectives (Rapport technique, 54 p). HAL INRAE

Tchobanoglous G., Burton F. et Stensel H.D., 2003. Wastewater Engineering : Treatment and Reuse. McGraw-Hill.

UNEP, 2019. Programme des Nations unies pour l'environnement : Un meilleur traitement des eaux usées est essentiel pour garantir la bonne santé des êtres humains et des écosystèmes.

Van den Heuvel M., 2025. Le bleu de méthylène : remède miracle ou tendance dangereuse ? Medscape édition française.

Vilaginés R., 2010. Eau, environnement et santé publique : Introduction à l'hydrologie. Édition TEC et DOC-Lavoisier. Paris. 217 p.

Wurtz A., 1956. Champignons, bactéries et algues des eaux polluées. Bulletin Français de Pisciculture, 29(182), 5–25.

Yildiz B.S., 2012. Activated sludge process. In B. Atkinson (Ed.), Biochemical engineering and biotechnology handbook. Elsevier.

Zhang S., Fan F. et Meng F., 2020. Seasonality and Community Separation of Fungi in a Municipal Wastewater Treatment Plant. Applied and Environmental Microbiology, 86(18).

Références sitographiques

Site 1 : https : //www.cieau.com/le-metier-de-leau/ressource-en-eau-eau-potable-eaux-usees/quest-ce-que-les-eaux-usees/(Consulté le 06 juin 2026)

Site 2 : https : //www.actu-environnement.com/ae/news/eaux-usees-industrielles-agence-europeenne-environnement-meilleure-connaissance-effet-cocktail-33212.php4(Consulté le 06 juin 2026)

Site 3 : https : //www.cieau.com/le-metier-de-leau/ressource-en-eau-eau-potable-eaux-usees/lexploitation-des-eaux-usees-une-solution-pour-preserver-les-ressources-en-eau/(Consulté le 06 juin 2026)

Site 4 : https : //www.scidev.net/afrique-sub-saharienne/news/eaux-usees-irrigation-cultures/(Consulté le 06 juin 2026)

Site 5 : https : //www.ebc-assainissement-carcassonne.fr/assainissement-alternatif/ (Consulté le 06 juin 2026)

Site 6 : https : //www.suezwaterhandbook.fr/Procedes-et-technologies/Procedes-biologiques/procedes-a-cultures-libres/types-et-configurations-des-reacteurs-de-boues-activees(Consulté le 06 juin 2026)

Site 7 : https : //www.emersan-compendium.org/fr/technologies-d-assainissement/technology/trickling-filter (Consulté le 06 juin 2026)

Site 8 : https : //www.suezwaterhandbook.fr/Procedes-et-technologies/Procedes-biologiques/procedes-a-cultures-fixees/filtres-biologiques (Consulté le 06 juin 2026)

Site 9 : https : //eau.gouvernement.lu/fr/domaines-activite/eaux-usees-pluviales/Traitements/Traitement-par-le-procede-des-disques-biologiques.html (Consulté le 06 juin 2026)

Site 10 : https : //www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/6865/bassin-d-aeration(Consulté le 06 juin 2026)

Site 11 : http : //wiklimat.developpement-durable.gouv.fr/index.php/Clarificateur_%28HU%29(Consulté le 06 juin 2026)

Site 12 :

https : //www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/12688/nitrosomonas (Consulté le 06 juin 2026)

Site 13 : https : //www.apollohospitals.com/ar/diseases-and-conditions/e-coli-escherichia-coli-symptoms-causes-its-transmission-and-treatment (Consulté le 06 juin 2026)

Site 14 : https : //www.sciencephoto.com/media/1280982/view/green-algae-light-micrograph(Consulté le 06 juin 2026)

Site 15 : https : //blog.mycoquebec.org/blog/hyphes-secretrices/ (Consulté le 06 juin 2026)

Annexes

Annexes

Préparation des solutions de coloration :

Solution de coloration	Composition	Quantité
Vert de méthyle	Poudre de vert de méthyle Eau distillée Acide acétique	1g 100ml 1ml
Bleu de méthylène	Poudre de bleu de méthylène Eau distillée Acide acétique	1g 100ml 1ml
Rouge neutre	Poudre de rouge neutre Eau distillée Acide acétique	1g 100ml 1ml
Lugol	Solution de Lugol diluée préparée au laboratoire	100ml

On ajoute de l'acide acétique dans les solutions de coloration car il sert à contrôler le pH, favoriser la fixation du colorant sur les structures cellulaires, et obtenir une coloration plus nette, stable et mieux observable sur microscope optique.