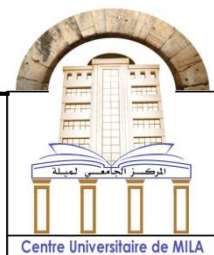


الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



N° Ref :.....

Centre Universitaire Abdelhafid BOUSSOUF- Mila

Institut 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 : Biochimie Appliquée

Thème :

**Identification de la microfaune d'une boue activée :
Cas de la station d'épuration des eaux usées de Ferdjioua Ain
Beida Ahriche**

Présenté par :

- Dahmane Bouchra
- Belaoura Amina

Devant le jury :

RIHANI Lamia

MENAKH Mouna

HARRIECHE Ouahiba

MCA au C.U. de Mila

MCB au C.U. de Mila

MAA au C.U. de Mila

Présidente

Examinatrice

Promoteur

Année Universitaire : 2023/2024

Résumé :

Les eaux usées sont l'un des types d'eau contaminés par les diverses activités de l'homme et ses multiples utilisations de l'eau à de nombreuses fins. Le traitement des eaux usées par boues activées est un procédé de traitement qui constitue un outil privilégié pour purifier les eaux usées en fournissant les bonnes conditions pour que les micro-organismes puissent éliminer les polluants. Ce travail consiste à étudier et identifier les micro-organismes qui constituent la microfaune présente dans la boue activée à la station d'épuration des eaux usées de Ain Baida Ahreiche, Ferdjioua. À partir de l'observation microscopique effectuée durant une période de deux mois (Avril et Mai), plusieurs espèces ont été identifiées : les protozoaires (5 espèces de Flagellés, 14 espèces de Ciliés et 4 espèces de Sarcodines) et 3 espèces de métazoaires (Tardigrade, Nématodes et Rotifère). Les résultats d'énumération ont montré la dominance de certaines espèces telles que *Vorticella*, *Arcella*, *Diffugia* et *Trachelophylum pusillum*. Nous avons également remarqué un développement important des bactéries filamenteuses qui indique des difficultés dans la décantation de la boue. Néanmoins, les eaux épurées qui sortent de la STEP sont conformes aux normes de rejet.

Mots clés : Boues activées, microfaune, énumération, protozoaires, métazoaires.

Summray

Wastewater is one of the types of water contaminated by man's various activities and his many uses of water for many purposes. Wastewater treatment using activated sludge is a treatment process that is a privileged tool for purifying wastewater by providing the right conditions for micro-organisms to eliminate pollutants. This work consists in studying and identifying the microorganisms that make up the microfauna present in the activated sludge at the Ain Baida Ahreiche wastewater treatment plant, Ferdjioua. Based on microscopic observations carried out over a two-month period (April and May), several species were identified: protozoa (5 species of Flagellates, 14 species of Ciliates and 4 species of Sarcodines) and 3 species of metazoa (Tardigrade, Nematodes and Rotiferans). Enumeration results showed the dominance of certain species such as *Vorticella*, *Arcella*, *Diffugia* and *Trachelophylum pusillum*. We also noted a significant increase in filamentous bacteria, indicating difficulties in sludge settling. Nevertheless, the treated water leaving the WWTP complies with discharge standards.

Key words: Activated sludge, microfauna, enumeration, protozoa, metazoa

المخلص

مياه الصرف الصحي هي أحد أنواع المياه الملوثة بسبب أنشطة الإنسان المختلفة واستخداماته العديدة للمياه لأغراض عديدة. معالجة مياه الصرف الصحي باستخدام الحمأة المنشطة هي عملية معالجة تعتبر أداة مثالية لتنقية مياه الصرف الصحي من خلال توفير الظروف المناسبة للكائنات الدقيقة للقضاء على الملوثات. يتضمن هذا العمل دراسة وتحديد الكائنات الحية الدقيقة التي تشكل الكائنات الحية الدقيقة الموجودة في الحمأة المنشطة في محطة معالجة مياه الصرف الصحي بعين البيضاء أهرش في فرجيوة. واستنادًا إلى الملاحظات المجهرية التي أجريت على مدى شهرين (أبريل ومايو)، تم تحديد عدة أنواع: أوليات (5 أنواع من الفلاجيلات، و14 نوعًا من الهدبيات و4 أنواع من الساركودينات) و3 أنواع من الميتازوا (التارديغراديات، والديدان الخيطية والروتيفيرا). أظهرت نتائج التعداد هيمنة بعض الأنواع مثل الفورتييسيل والأركيلا والدايفلوجيا والتراشلوفيلوم بوسيلوم. لاحظنا أيضًا زيادة كبيرة في البكتيريا الخيطية، مما يشير إلى صعوبات في ترسيب الحمأة. ومع ذلك، فإن المياه المعالجة الخارجة من محطة معالجة مياه الصرف الصحي تتوافق مع معايير التصريف

الكلمات المفتاحية: الحمأة المنشطة، الحيوانات الدقيقة، التعداد، البروتوزوا، الميتازوا

Dédicace

Tout d'abord, louange à **ALLAH** qui m'a guidé sur le droit chemin tout ou long du travail et qui m'a inspiré les bons pas et les justes réflexes, sans sa miséricorde, ce travail n'aura pas abouti. Je dédie ce modeste travail

A ma mère **FATIMA**, qui m'a encouragé durant toutes mes études, et qui sans elle, ma réussite n'aura pas eu lieu. Qu'elle trouve ici mon amour et mon affection.

A mon père **RAMDAN**, qui est toujours disponible pour nous, et prêt à nous aider, je lui confirme mon attachement et mon profond respect.

A mon cher fiancé : **ABD ELMOUNAIM**, Qui m'a toujours soutenu dans mes décisions.

A mes chères sœurs : **KHADIDJA**, **RABIAA** et **CHAHIRA** Que dieu les protège pour moi.

A mes chers frères : **MOHAMED**, **KHALED** et **BILEL**.

A mes chers neveux : **ALAE**, **SOUDJOURD**, **SALSABIL**, **TASNIM**, **TAWBA**, **SOUHAIB**, **JANA**, **LOKMAN** et **MONTASER**.

A tout ma famille.

A mes amis intime : **AYA**, **OMAIMA** et **RADJA** un remerciement particulier pour les moments les plus beaux et les plus dures que vous avez passé avec moi.

A ma chère binôme : **BOUCHRA**.

Je dédie à mon encadreur : **HARREICHE OUAHIBA** pour son grand soutien.

A tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

AMINA

إهداء

وَأَخِرُ دَعْوَاهُمْ أَنْ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ

الحمد لله عند البدء وعند الختام، فما تناهى درّب، ولا خُتم جهد، ولا تم سعي إلا بفضل الله الحمد لله دائماً وأبداً
أهدي عملي هذا الى من كان له الفضل الاكبر بعد الله علي ابي الغالي عبد الحفيظ و أمي الحبيبة حنيفة من رعياني
بدعواتها التي كنت التمس أثرها في كل حين.

الى من كان وجودهم سر بسمتي وسعادتي الى أجمل نعمة وهبني الله إياها أخوي العزيزين : نافع ومحمد
الى من لا أستطيع تخيل حياتي بدونهن أخواتي الغاليات : مريم ، رقية وشيلاء حفظكن الله من كل سوء، دمتن لي
السند والمتكىء

الى أميرة قلبي الصغيرة ليان.

الى صديقات انيسات روحي : عبير ، ايناس ، أصالة و وئام شكرا لدعمكن المتواصل لي .

الى من شاركتني في هذه الرحلة رفيقة دربي وصديقتي آمنة.

الى من كان لها فضل كبير في انجاح هذا العمل أستاذتنا : حريش وهيبه شكرا لك على كل النصائح والارشادات.
الى كل افراد عائلتي شكرا لكم من القلب.

بشرى

Remerciements :

Ce mémoire n'aurait jamais vu le jour sans l'aide de Allah, le tout puissant, pour nous avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout et les moyens pour arriver à ce stade de connaissance.

*Nous souhaitons exprimer notre plus profond remerciement à notre promotrice **Ouahiba HARRIECHE**, pour son suivi au quotidien, pour ses conseils, sa disponibilité, son travail constructif et pour toute la confiance qu'elle a su nous témoigner à travers l'autonomie qu'elle nous a accordé durant cette étude, elle a, sans doute, été une promotrice exemplaire.*

*Nous exprimons toute notre gratitude Madame **Lamia RIHANI** qui nous a fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire.*

*Nous remercions Madame **Mouna MENAKH** d'avoir accepté d'examiner notre mémoire.*

*Nos remerciements s'adressent également à toute l'équipe de la STEP de Ferdjoua en particulier le chef du laboratoire **Sabah** et **Ayoub**.*

Sans oublier toute la promotion de biochimie 2024.

Liste des tableaux

Numéro	Titre	Page
1	Les parasites pathogènes dans les eaux usées	7
2	Les virus dans les eaux usées	8
3	Les bactéries pathogènes dans les eaux usées	9
4	Les normes internationales des eaux usées	15
5	Les normes algériennes des eaux usées	16
6	Les normes européennes des eaux usées	16
7	Techniques extensives utilisées aux procédés biologiques de traitement des eaux usées	24
8	Différents types de boues de STEP	28
9	Les avantages et inconvénients des boues activées	31
10	Données techniques de la STEP de Ferdjioua Ain Beida Ahriche	47
11	Clé d'identification de la microfaune	60
12	Résultats de la mesure des paramètres physico-chimiques	63
13	Résultats d'énumération des protozoaires et métazoaires	83

Liste des figures

Figure	Titre	Page
1	Les eaux usées	2
2	Schéma du circuit des eaux usées	3
3	Les eaux domestiques	4
4	Les eaux industrielles	5
5	Les eaux agricoles	6
6	La pollution physique	10
7	La pollution chimique	11
8	La pollution bactériologique	11
9	Le disque biologique	22
10	Schéma du procédé à lit bactérien	22
11	Principe de la boue activée	23
12	Mécanisme de lagunage	24
13	Filtres plantés de Roseaux	25
14	Les filtres à sable	25
15	Classification des protozoaires	38
16	Mastigoforea	39
17	Les amibes	39
18	Les thécamébiens	40
19	Les holotriches	41
20	Les péritriches (<i>vorticelle</i>)	41
21	Le rotifère	43
22	Le nematode	43
23	Les gastrotriches	44
24	Les oligochètes	44
25	La STEP de Ain Beida Ahreiche Ferdjioa	46
26	Localisation géographique de la STEP Ain Beida Ahreiche Ferdjioa	47
27	Le dégrilleur grossier	49
28	Le dégrilleur fin mécanisé	49
29	Le déshuileur	50
30	Les trois bassins de traitement biologique	50
31	L'ouvrage de dégazage	51
32	Le clarificateur	52
33	La déshydratation mécanique	53
34	Lit de séchage	53
35	Bloc chauffant	54
36	Spectrophotomètre visible	54
37	La balance	54
38	Le four à moufle	54
39	Étuve	54
40	La centrifugeuse	54
41	Le distillateur	54
42	Étuve thermostat	54
43	Le microscope	54
44	Conservateur des produits chimiques	55
45	Les verreries de laboratoire	55

46	Le pH metre	55
47	Conductimètre	55
48	Oxygen dissout	55
49	Oxitop DBO ₅	55
50	Étuve thermostable	55
51	Triturateur digitale	56
52	Sorbonne	56
53	Dissicateur	56
54	Evaporateur par vibration	56
55	Evaporateur rotatif	56
56	Prélèvement de la boue activée dans la STEP de Ferdjioua	57
57	Observation microscopique avec l'encre de chine	59
58	La cellule de Thoma	61
59	Quadrillage de la cellule de Thoma	61
60	Aspect macroscopique de la boue activée	64
61	Observation microscopique montrant la présence des bactéries filamenteuses	64
62	Observation microscopique à l'état frais 400X	65
63	Observation microscopique après coloration à l'encre de chine 400X	65
64	Observation microscopique après coloration au bleu de méthyle 400X	65
65	Observation microscopique après coloration au vert de méthyle 400X	65
66	Observation microscopique après coloration au rouge neutre 400X	65
67	Observation microscopique après coloration à l'iode iodure 400X	65
68	<i>Peranema sp.</i> (400X)	66
69	<i>Peranema sp.</i>	66
70	<i>Polytomella sp.</i> (400X)	66
71	<i>Polytomella sp.</i>	66
72	<i>Monas globosa</i> (400X)	66
73	<i>Monas globosa</i>	66
74	<i>Oicononas socialis</i> (400X)	67
75	<i>Oicononas socialis</i>	67
76	<i>Trachelomonas euchlora</i> (400X)	67
77	<i>Trachelomonas euchlora</i>	67
78	<i>Halteria sp.</i> (400X)	67
79	<i>Halteria sp.</i>	67
80	<i>Eudorina sp.</i> (400X)	68
81	<i>Eudorina sp.</i>	68
82	<i>Grande Amibe</i> (400X)	68
83	<i>Grande Amibe</i>	68
84	<i>Monogonont acolurella</i> (400X)	69
85	<i>Monogonont acolurella</i>	69
86	<i>Arcella sp.</i> (400X)	69
87	<i>Arcella sp.</i>	69

88	<i>Diffflugia globulosa</i> (400X)	69
89	<i>Diffflugia globulosa</i>	69
90	<i>Diffflugia</i> sp. (400X)	70
91	<i>Diffflugia</i> sp.	70
92	<i>Arcella vulgaris</i> (400X)	70
93	<i>Arcella vulgaris</i>	70
94	<i>Mayroella cultura</i> (400X)	70
95	<i>Mayroella cultura</i>	70
96	<i>Amoeba proteus</i> (400X)	71
97	<i>Amoeba proteus</i>	71
98	<i>Amibe à plusieurs pseudopodes</i> (400X)	71
99	<i>Amibe à plusieurs pseudopodes</i>	71
100	<i>Euglipha cristata</i> (400X)	71
101	<i>Euglipha cristata</i>	71
102	<i>Rhizopoda (Amoebae)</i> (100X)	72
103	<i>Rhizopoda (Amoebae)</i>	72
104	<i>Uronema</i> sp. (400X)	72
105	<i>Uronema</i> sp.	72
106	<i>Uronema nigricans</i> (400X)	73
107	<i>Uronema nigricans</i>	73
108	<i>Trachelophylum pusillum</i> (400X)	73
109	<i>Trachelophylum pusillum</i>	73
110	<i>Carchesium polypinum</i> (100X)	73
111	<i>Carchesium polypinum</i>	73
112	<i>Vorticella</i> sp. (400X)	74
113	<i>Vorticella</i> sp.	74
114	<i>Frontoniaatra</i> (400X)	74
115	<i>Frontoniaatra</i>	74
116	<i>Tête de vorticelle</i> (100X)	74
117	<i>Tête de vorticelle</i>	74
118	<i>Zoothamnium pygmaeum</i> (400X)	75
119	<i>Zoothamnium pygmaeum</i>	75
120	<i>Vorticella convallaria</i> (400X)	75
121	<i>Vorticella convallaria</i>	75
122	<i>Epistylis ciliate</i> (400X)	75
123	<i>Epistylis ciliate</i>	75
124	<i>Epistylis</i> sp. (400X)	76
125	<i>Epistylis</i> sp.	76
126	<i>Epistylis plicatilis</i> (400X)	76
127	<i>Epistylis plicatilis</i>	76
128	<i>Voginicola crystalline</i> (400X)	76
129	<i>Voginicola crystalline</i>	76
130	<i>Vaginicola</i> sp. (400X)	77
131	<i>Vaginicola</i> sp.	77
132	<i>Vorticelle (forme télotroche)</i> (400X)	77
133	<i>Vorticelle (forme télotroche)</i>	77
134	<i>Epistylis Ehrenberg</i> (400X)	77
135	<i>Epistylis Ehrenberg</i>	77

136	<i>Phialina caudata</i> (400X)	78
137	<i>Phialina caudate</i>	78
138	<i>Stentor sp.</i> (100X)	78
139	<i>Stentor sp.</i>	78
140	<i>Aspidisca costata</i> (400X)	78
141	<i>Aspidisca costata</i>	78
142	<i>Acineta foetida</i> (400X)	79
143	<i>Acineta foetida</i>	79
144	<i>Tokophrya quadripartita</i> (400X)	79
145	<i>Tokophrya quadripartite</i>	79
146	<i>Nématode (Vers lisse)</i> (400X)	80
147	<i>Nématode (Vers lisse)</i>	80
148	<i>Oligochetes Aelosoma</i> (400X)	81
149	<i>Oligochetes Aelosoma</i>	81
150	<i>Nématode (vers rond)</i> (400X)	81
151	<i>Nématode (vers rond)</i>	81
152	<i>Ankylostome (nématodes)</i> (400X)	81
153	<i>Ankylostome (nématodes)</i>	81
154	<i>Rotifiere Digonta</i> (400X)	82
155	<i>Rotifiere Digonta</i>	82
156	<i>Tartigrade Sp.</i> (400X)	82
157	<i>Tartigrade Sp.</i>	82
158	Diagramme des espèces présentes dans la boue active le mois d'Avril.	85
159	Diagramme des espèces présentes dans la boue activée le mois d'Avril.	86
160	Diagramme des espèces présentes dans la boue activée le de Mai.	87

Liste des abréviations

°C : Degré Celsius

DBO5 : demande biochimique en oxygène pendant 5 jours

DCO : demande chimique en oxygène

EH : équivalent habitant

k : potassium

MES : matières en suspension

MS : matière sèche

N : azote

NH₄⁺ : azote ammoniacal

nm : nanomètre

NO₂ : nitrite

NO₃ : nitrate

O₂ : oxygène

pH : potentiel hydrique

s : seconde

STEP : station d'épuration des eaux usées

µm : micromètre

HMT : hauteur manométrique total

Table des matières

Dédicace	
Remerciements	
Résumé	
Summary	
ملخص	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Table des matières	
Introduction	

Synthèse bibliographique

Chapitre 1 : Généralités sur les eaux usées

1- Définition des eaux usées.....	2
2- Origine des eaux usées.....	2
2-1- Les rejets domestiques.....	3
2-2- Les eaux usées industrielles.....	4
2-3- Les eaux ruissellement.....	5
2-4- Les eaux agricoles.....	5
2-5- Les eaux parasites.....	6
2-6- Les eaux de nappes.....	6
2-7- Les eaux de drainage.....	6
3- Composition des eaux usées.....	6
3-1- Les parasites	7
3-2- Les virus.....	8
3-3- Les bactéries.....	9
4- La pollution	9
4-1- Pollution des eaux.....	9
5- Types de pollution de l'eau	10
5-1- Pollution physique.....	10

5-1-1- Pollution mécanique.....	10
5-1-2- La pollution thermique.....	10
5-2- Pollution chimique	10
5-3- La pollution bactériologique	11
6- Caractéristique des eaux usées	11
6-1- Paramètres organoleptiques.....	11
6-1-1- La Couleur des eaux usées.....	11
6-1-2- Odeur	12
6-2- Les paramètres physiques.....	12
6-2-1- La température.....	12
6-2-2- Le potentiel d'Hydrogène (pH).....	12
6-2-3- La turbidité.....	12
6-3- Les paramètres chimique	13
6-3-1- Les matières en suspension (MES).....	13
6-3-2- Conductivité électrique (CE)	13
6-3-3- La demande biologique en oxygène (DBO5).....	13
6-3-4- La demande chimique en oxygène (DCO)	13
6-3-5- L'oxygène dissous.....	13
6-3-6- Biodégradabilité.....	13
6-3-7- Carbone organique total (COT)	14
7- Autres éléments.....	14
7-1- Azote	14
7-2- Nitrites NO ₂ -	14
7-3- Nitrates NO ₃ -.....	14
7-4- Phosphore.....	15
8- Les Normes des rejets des eaux usées	15
8-1- Les Normes Internationales	15
8-2- Les Normes Algériennes	15
8-3- Les Normes Européennes.....	16

Chapitre 2 : L'épuration des eaux usées

1- Définition de l'épuration.....	18
1-1- Principe d'épuration.....	18
2- La station d'épuration	18
3- Les différents modes de collèe	19
3-1- Le réseau séparatif	19
3-2- Le réseau unitaire.....	19
3-3- Le système mixte	19
4- Procédé de traitement des eaux usées	19
4-1- Les prétraitement	20
4-1-1- Dégrillage	20
4-1-2- Dilacération	20
4-1-3- Tamisage.....	20
4-1-4- Dessablage	20
4-1-5- Dégraissage- déshuilage.....	20
4-2- Traitement primaire.....	21
4-2-1- Décantation physique.....	21
4-2-2- Décantation physico-chimique	21
4-3- Traitement secondaire (biologique).....	21
4-3-1- Procédés biologiques intensifs	22
4-3-1-1- Disque biologique (cultures fixées).....	22
4-3-1-2- Lits bactériens (cultures fixées)	22
4-3-1-3- Boues activées (culture libre)	23
4-3-2- Procédés biologiques extensive.....	23
4-3-2-1- Le lagunage	24
4-3-2-2- Les filtres plantés.....	24
4-3-2-3- Les filtre à sable.....	25
4-4- Traitement tertiaire.....	25
4-4-1- L'élimination de l'azote.....	26
4-4-2- L'élimination du phosphore.....	26

Chapitre 3 : La composition de la boue activée

1- Définition des boues activée.....	27
2- Types des boues actives.....	27
2-1- Les boues primaires.....	27
2-2- Les boues secondaires (boues activées)	27
2-3- Les boues mixtes.....	28
2-4- Les boues physico-chimiques.....	28
3- La composition microbiologique de la boue activée.....	29
3-1- Le floc bactérien	29
3-2- Le liquide interstitiel.....	30
3-3- La microflore	30
3-3-1- Le métabolisme bactérien	30
3-3-2- Processus métaboliques.....	30
3-4- La microfaune	30
4- Propriétés et caractéristiques des boues	31
4-1- Propriétés chimiques	31
4-1-1- Les matières organiques.....	31
4-1-2- Les substances nutritives.....	31
4-1-3- Les micropolluants organiques et non organique	31
4-1-4- Les sels minéraux	32
4-2- Propriétés biologiques.....	32
4-3- Propriétés physiques	32
4-3-1- La couleur.....	32
4-3-2- La teneur en matière sèche.....	33
4-3-3- La teneur en matière volatile	33
4-3-4- La teneur en eau.....	33
4-3-5- La siccité	33
4-3-6 La consistance des boues.....	33
5- Formation des boues activées.....	33
5-1- Transfert.....	34
5-2- Conversion	34

5-3- Flocculation.....	34
6- Traitement des boues activée.....	34
6-1- Epaississement.....	34
6-2- Stabilisation.....	34
6-2-1- Voie aérobie (en présence d'oxygène)	35
6-2-2- Voie anaérobie (absence d'oxygène).....	35
6-3- Conditionnement des boues	35
6-4- Déshydratation	35
6-5- Séchage.....	35
6-6- Elimination des boues.....	35
7- Destination final des boues	36
7-1- Utilisation agricole.....	36
7-2- Mise en décharge.....	36
7-3- L'incinération.....	36
8- Production des boues en Algérie	36

Chapitre 4 : La microfaune de la boue activée

1- Définition de la microfaune.....	37
2- Composition de la microfaune.....	37
2-1- Embranchement des protozoaires	37
2-1-1- Sous embranchement des flagellés.....	38
2-1-2- Sous embranchement des sarcodines.....	39
2-1-3- Sous embranchement des ciliés.....	40
2-2- Embranchement de métazoaires	42
2-2-1- Sous embranchement des rotifères.....	42
2-2-2- Sous embranchement des nématodes.....	43
2-2-3- Sous embranchement des Gastrotriches.....	43
2-2-4- Sous embranchement des oligochètes	44
2-2-5- Sous embranchement des tardigrades et des acariens	44
3- Principales fonctions de la microfaune.....	44
3-1- Locomotion	44

3-2- Respiration.....	45
3-3- Nutrition.....	45

Partie expérimentale

Présentation de la station d'épuration des eaux usées de Ferdjioua Ain Beida Ahreiche

1- Localisation géographique de la STEP.....	46
2- Les données techniques du STEP.....	47
3- Les étapes de traitement de la STEP.....	48
3-1- Station de relevage.....	48
3-2- prétraitement	48
3-2-1- Dégrillage	48
3-2-1-1- Dégrillage grossier.....	48
3-2-1-2- Dégrillage fin mécanisé.....	49
3-2-2- Dessablage-déshuilage	49
3-3- Traitement biologique	50
3-3-1- Bassin d'anaérobiose	50
3-3-2- Bassin d'anoxie	50
3-3-3- Bassin d'aération.....	51
3-3-4- Ouvrage de dégazage	51
3-4- Clarificateur.....	51
3-5- Traitement des boues.....	52
3-5-1- Station de pompage des boues biologiques en excès	52
3-5-2- Epaississement.....	52
3-5-3- Déshydratation	52
3-5-3-1- Déshydratation mécanique.....	52
3-5-3-2- Lit de séchage.....	53
4- Laboratoire.....	54

Matériel et méthodes

1-Prélèvement	57
2- Observation macroscopique et microscopique des boues.....	57
2-1- Observation macroscopique des boues	57
2-2-Observation microscopiques des boues.....	57

2-2-1- Observation à l'état frais.....	58
2-2-2- Observation microscopique après coloration.....	58
2-2-2-1-Coloration avec le lugol	58
2-2-2-2- Coloration avec le vert de méthyle	59
2-2-2-3- Coloration avec le rouge neuter	59
2-2-2-4- Bleu de methylene (chlorure de méthylthioninium)	59
2-2-2-5- Encre de Chine.....	59
3- L'identification des protozoaires et métazoaires	60
4- Comptage de la microfaune	61
4-1- Description du matériel	61
4-2- Cellule de Thoma	61
5- Méthode de comptage.....	61

Résultats et discussion

1-Les paramètre physico-chimique	63
2-Aspecte macrscopique des boue activée.....	63
3- Résultats de l'obsevation mcroscpique de la bue activée.....	64
4- Identification	65
4-1- Les protozoaires.....	66
4-1-1 Les flagelles.....	66
4-1-2-Les sarcodines	68
4-1-3- Les cillies	72
4-2- Les métazoaires	80
5- Comptage de la microfaune	82
5-1- Les résultats du 06 Aril	85
5-2- Les résultats du 23 Avril.....	86
5-3- Les résultats du 06 Mai	87

Conclusion

Annexes

Références bibliographiques

Références sitographiques

Introduction

Générale

Introduction générale :

L'eau ne peut être considérée comme un simple produit commercial ; elle doit être classée comme un patrimoine universel et donc protégée, défendue et traitée comme tel. Elle est une ressource vitale pour l'homme ; elle l'est également pour ses activités agricoles, économiques et la qualité de son environnement en dépend étroitement. Cependant, elle est le réceptacle universel de tout type de pollution (**Eddabra, 2011**).

Le développement de l'urbanisation et l'industrialisation, ainsi que le mode de consommation résultent les rejets des eaux usées qui ont considérablement évolué en quantité et en qualité. La question de l'environnement et la situation des rejets d'eau usée urbaines reste, à nos jours, problématique car les cours d'eau qui constituent le récepteur de ces rejets sont dépassés dans leurs capacités naturelles d'épuration et se retrouvent pollués. Ceci nécessite l'épuration avant les rejets dans le milieu récepteur, qui est impérative à plus d'un titre, aussi bien pour la protection de l'environnement que pour l'économie de l'eau par la réutilisation de la quantité ainsi épurée, et d'autre part, protégé les ressources d'eau potable, notamment les eaux souterraines (**Zobeidi et Bebba, 2013**). C'est pour cela que, depuis l'antiquité, les chercheurs ont utilisé différents types de procédés de traitement des eaux usées et le procédé de traitement le plus utilisé est le procédé biologique (**Bouchareb, 2018**).

Donc, les eaux usées sont les eaux rejetées par les collectivités et les industries et qui sont acheminées par les égouts en station d'épuration afin d'être traitées. Après traitement, on les appelle des eaux usées épurées. Dans le cycle d'assainissement de l'eau « classique », celles-ci sont rejetées dans le milieu naturel (**Baumont et al., 2004**). Les procédés mécaniques et physiques et les traitements biologiques par boues activées ont permis d'éliminer une grande partie des matières contenues dans l'eau. Les procédés de traitement des eaux qui recueillent ces eaux usées sont composés de plusieurs phases, chacune traitant un type particulier de pollution (organique, chimique, minérale) (**Cherif, 2012**).

En fait, l'épuration par boues activées en aérobose et à culture libre est l'un des plus répandus. Les boues proviennent de l'épuration, elles résultent de l'activité biologique des microorganismes vivant dans ces boues et qui transforment les matières transportées par les eaux usées pour qu'elles puissent en être extraites. Il s'agit d'un traitement aérobie courant qui réduit la quantité de matière organique dans les eaux usées en utilisant différents micro-organismes (**Pal et al., 2014**).

Sachant que la boue activée est l'ensemble de microflore (bactéries) et microfaune (protozoaires et métazoaires). Cette dernière est bien connue comme un indicateur potentiel pour le contrôle opérationnel des systèmes de traitement biologique. Elle joue un rôle important dans les systèmes de traitement des eaux usées municipales. Elle maintient la densité des bactéries, contribue à la floculation des boues et, dans une certaine mesure, stimule l'activité bactérienne dans les systèmes de boues activées et peut être responsable de l'amélioration du traitement (**Hu et al., 2013**).

Ainsi, l'objectif de notre travail est étudié la microfaune de la boue activée dans la station d'épuration des eaux usées de Ferdjioua. Donc quelles sont les espèces qui forment la microfaune et quelles sont leur indication sur la qualité de traitement des eaux usées ?

Chapitre 1 :
Généralités sur les
eaux usées

Introduction

Les eaux usées sont des milieux extrêmement complexes, altérés par les activités anthropiques à la suite d'un usage domestique, industriel, artisanal, agricole ou autre. Elles sont considérées comme polluées et doivent être donc traitées avant toute réutilisation ou injection dans les milieux naturels récepteurs (**Selghi, 2001**).

1-Définition des eaux usées

Les eaux usées, sont des eaux utilisées et souillées par différentes substances telles que les détergents, les microorganismes (bactéries, virus, parasites), les pesticides, etc, et dont certaines peuvent avoir un caractère toxique. Elles sont issues des différents usages de l'eau liés aux activités humaines domestiques (les eaux vannes et les eaux ménagères), industriels (eaux usées des usines) ainsi que les eaux de ruissellement (**Rodier et Bachi, 2010**).

Ces eaux usées sont collectées dans un réseau d'égout ; apparaissent comme un liquide trouble généralement grisâtre (figure 1) ; contenant des matières grasses et des autres en suspension d'origine minéral et organique à des teneurs extrêmement variables (**Rodier et Bachi, 2010**). Elles sont acheminées vers une station d'épuration pour y être traitée et si possible réutilisées (**Bachi, 2010**).



Figure 01 : Les eaux usées (Site 1).

2- Origine des eaux usées

Les eaux usées urbaines proviennent essentiellement des activités domestiques et industrielles ainsi que des eaux souterraines et des précipitations (les réseaux étant généralement unitaires) (Figure 02), Il regrouper dans plusieurs types :

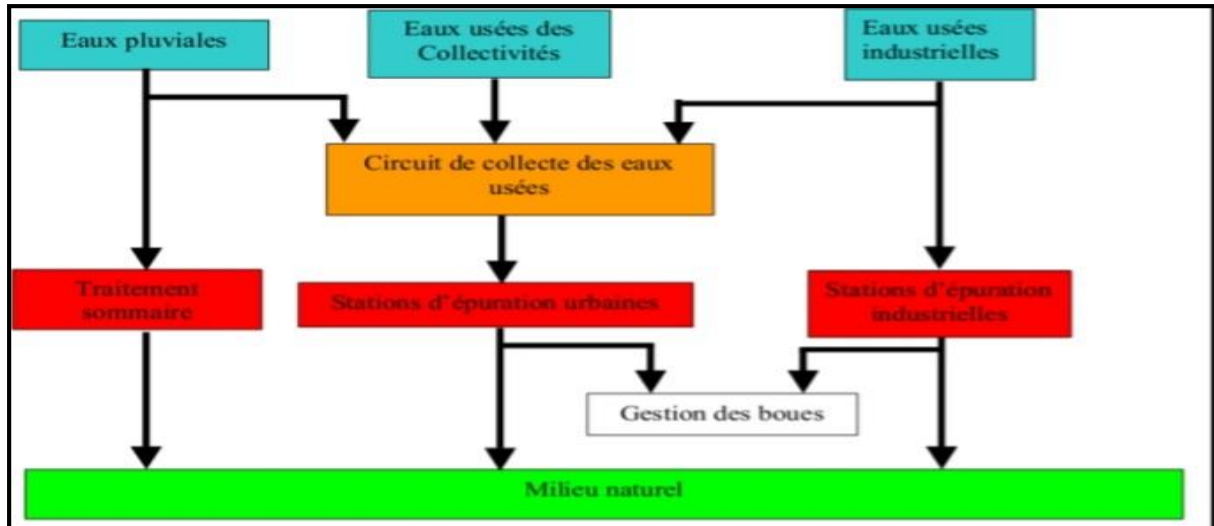


Figure 02 : Schéma du circuit des eaux usées (Ganjous, 1995).

2-1- Les rejets domestiques

Les eaux usées d'origine domestique sont issues de l'utilisation de l'eau (potable dans la majorité des cas) par les particuliers pour satisfaire tous les usages ménagers. Lorsque les habitations sont en zone d'assainissement collectif, les eaux domestiques se retrouvent dans les égouts. Les eaux usées domestique comprennent les eaux vannes, qui correspondent aux eaux de toilettes et les eaux grises qui correspondent à tous les autres usages : lave-linge, lave-vaisselle, douche/bain (Figure 03), etc. La composition des eaux usées d'origine domestique peut être extrêmement variable, et dépend de trois facteurs :

- ✓ La composition originelle de l'eau potable,
- ✓ Les diverses utilisations par les particuliers qui peuvent apporter un nombre quasi-infini de polluants : tous les produits d'entretien, lessives mais aussi, solvants, peintures, mercure de thermomètre, colle, etc.
- ✓ Les utilisateurs eux-mêmes qui vont rejeter de la matière organique dans les égouts (urines et fèces) ; Ce type de rejets apporte également des micro-organismes et des contaminants divers (médicaments), etc. (Khelif, 2018).



Figure 03 : Les eaux domestiques (Site 2).

2-2-Les eaux usées industrielles

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques (figure 4). Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus des matières organiques, azotées ou phosphorées, elles sont chargées en différentes substances chimiques organiques et métalliques. Selon leur origine industrielle elles peuvent également contenir :

- ✓ Des graisses (industries agroalimentaires, équarrissage) ;
- ✓ Des hydrocarbures (raffineries) ;
- ✓ Des métaux (traitements de surface, métallurgie) ;
- ✓ Des acides, des bases et divers produits chimiques (industries chimiques divers, tanneries) ;
- ✓ De l'eau chaude (circuit de refroidissement des centrales thermiques) ;
- ✓ Des matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs)

(Mohammed Said, 2012).

Les rejets industriels peuvent donc suivre trois voies d'assainissement :

- Soit-elles sont directement rejetées dans le réseau domestique ;
- Soit-elles sont prétraitées puis rejetées dans le réseau domestique ;
- Soit-elles sont entièrement traitées sur place et rejetées dans le milieu naturel.

Dans le cas d'un rejet dans le réseau domestique, avec ou sans pré-traitement, les effluents industriels peuvent fortement modifier la composition des eaux usées. **(Gaujous, 1995)**. Elles ne sont mélangées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des stations d'épurations **(Mohammed Said, 2012)**.



Figure 04 : Les eaux industrielles (Site 3).

2-3- Les eaux de ruissellement

Les eaux pluviales peuvent constituer une source de pollution importante des cours d'eau, notamment pendant les périodes orageuses. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'aire (fumées industrielles), puis, en ruisselant, des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes (huiles de vidange, carburants, résidus de pneus et métaux lourds...). En effet, dans les zones urbaines, les surfaces construites rendent les sols imperméables et ajoutent le risque d'inondation à celui de la pollution (**Bontoux, 1993**).

Il faut signaler que les eaux de pluie qui ruissellent sur les surfaces imperméabilisées, en général en zone urbaine, sont collectées par un réseau qui peut-être le même que celui qui collecte les eaux usées, ou non. On distingue :

- ✓ Les réseaux unitaires : un seul collecteur assure le transport des eaux usées et des eaux pluviales. La qualité et le volume des eaux qui arrivent à la station d'épuration sont très variables ;
- ✓ Les réseaux séparatifs : deux réseaux sont mis en place, l'un pour collecter les eaux usées, l'autre pour les eaux de de ruissellement (**Belaid et Dupont, 2010**).

2-4- Les eaux agricoles

L'agriculture est une source de pollution des eaux qui n'est pas négligeable (figure 5) car elle apporte les engrais et les pesticides. Elle est la cause essentielle des pollutions diffuses (**Metahri, 2012**).

Les eaux usées des établissements agricoles concernent toutes les eaux impropres à la consommation ayant fait l'objet d'une utilisation ou ayant subi une transformation, et qui proviennent directement ou indirectement de leurs activités. Dans le cas d'un établissement d'élevage ces eaux comprennent (**Dallel, 2012**).



Figure 05 : les eaux agricoles (Site 4).

2-5-Les eaux parasites

Il s'agit en général d'eaux claires, ne nécessitant aucun traitement, mais venant se mélanger aux eaux polluées, et qui saturent et perturbent le fonctionnement des ouvrages de collecte et de traitement (**Joannis et al., 1992**). Ces eaux sont d'origine naturelle (captage de source, drainage de nappe, fossé, etc...) ou artificielle (fontaine, drainage de bâtiment, etc...). Elles présentent notamment l'inconvénient de diluer les effluents d'eaux usées et de réduire tant la capacité de transport disponible dans les réseaux d'assainissement que l'efficacité de traitement des stations d'épuration (**anonyme 27 novembre 2020**).

2-6- Les eaux de nappes

Les eaux de nappes, en général, qualifiées d'apports pseudo-permanents, en raison de leur persistance dans le temps. Ce sont les infiltrations qui se produisent à la faveur des défauts d'étanchéité dans les parties baignées ou noyées d'un réseau. Elles constituent un apport de base fluctuant au rythme des saisons et relativement peu sensible aux événements pluvieux (**Site 5**).

2-7-Les eaux de drainage

C'est l'eau de lessivage récupérée après irrigation grâce à système de drainage (**Brissaud, 1993**).

3-Composition des eaux usées

Les eaux usées se composent de nombreuses substances, sous forme solide ou dissoute, ainsi que de nombreux microorganismes. Ces substances peuvent être classées en trois groupes (tableau 1, 2 et 3), selon leurs caractéristiques physicochimiques, biologiques et leur danger sanitaire (**Baumont et al., 2004**).

3-1- Les parasites

Le tableau ci-dessous montre les parasites les plus couramment trouvés dans les eaux usées.

Tableau 01 : Les parasites pathogènes dans les eaux usées (Baumont et al., 2009).

Organisme	Symptômes, maladie	Nombre pour un litre	Voies de contamination Principales
Protozoaires			
<i>Entamoeba histolytica</i>	Dysenterie amibienne	4	Ingestion
<i>Giardia lamblia</i>	Diarrhée, malabsorption	125 à 100 000	Ingestion
<i>Balantidium coli</i>	Diarrhée bénigne, ulcère du colon	28-52	Ingestion
<i>Cryptosporidium</i>	Diarrhée	0,3 à 122	Ingestion
<i>Toxoplasma gondii</i>	Toxoplasmose : ganglions, faible fièvre	Inhalation / Ingestion	
<i>Cyclospora</i>	Diarrhée, légère fièvre, perte de poids	Ingestion	
<i>Microsporidium</i>	Diarrhée	Ingestion	
Helminthes			
<i>Ascaris</i>	Ascariase : diarrhée, troubles nerveux	5 à 111	Ingestion
<i>Ancylostoma</i>	Anémie	6 à 188	Ingestion / Cutanée
<i>Necator</i>	Anémie	Cutanée	
<i>Tænia</i>	Diarrhée, douleurs musculaires	Ingestion de viande mal cuite	
<i>Trichuris</i>	Diarrhée, douleur abdominale	10 à 41	Ingestion
<i>Toxocora</i>	Fièvre, douleur abdominale	Ingestion	
<i>Strongyloïdes</i>	Diarrhée, douleur abdominale, nausée	Cutanée	

3-2- Les virus

Le tableau ci-dessous montre les virus qui vivent dans les eaux usées.

Tableau 02 : Les virus dans les eaux usées (Asano, 1998).

Agent pathogène	Symptômes, maladie	Voie de contamination Principale
Virus de l'hépatite A	Hépatite A	Ingestion
Rotavirus	Vomissement, diarrhée	Ingestion
Virus de Norwalk	Vomissement, diarrhée	Ingestion
Adénovirus	Maladie respiratoire, conjonctivite, vomissement, diarrhée	Ingestion
Astrovirus	Vomissement, diarrhée	Ingestion
Calicivirus	Vomissement, diarrhée	Ingestion
Coronavirus	Vomissement, diarrhée	Ingestion / inhalation
Réovirus	Affection respiratoire bénigne et diarrhée	Ingestion
Poliovirus	Paralysie, méningite, fièvre	Ingestion
Coxsackie A	Méningite, fièvre, pharyngite, maladie respiratoire	Ingestion
Coxsackie B	Myocardite, anomalie congénitale du cœur (si contamination pendant la grossesse), éruption cutanée, Fièvre, méningite, maladie, Respiratoire	Ingestion
Echovirus	Méningite, encéphalite, maladie respiratoire, rash, diarrhée, fièvre	Ingestion
Entérovirus 68-71	Méningite, encéphalite, maladie respiratoire, conjonctivite hémorragique aiguë, fièvre	Ingestion

3-3- Les bactéries

Le tableau ci-dessous regroupe les bactéries pathogènes trouvées dans les eaux usées.

Tableau 03 : Les bactéries pathogènes dans les eaux usées (Asano, 1998).

Agent pathogène	Symptômes, maladie	Nombre pour un litre d'eau usée	Voies de contamination Principales
<i>Salmonella</i>	Typhoïde, paratyphoïde, salmonellose	80 000	Ingestion
<i>Shigella</i>	Dysenterie bacillaire	23 à 10 à 10 000	Ingestion
<i>E. coli</i>	Gastro-entérite		Ingestion
<i>Yersinia</i>	Gastro-entérite		Ingestion
<i>Campylobacter</i>	Gastro-entérite	37 000	Ingestion
<i>Vibrio</i>	Choléra	100 à 100 000	Ingestion
<i>Leptospira</i>	Leptospirose		Cutanée/Inhalation/Ingestion
<i>Legionella</i>	Légionellose		Inhalation
<i>Mycobacterium</i>	Tuberculose		Inhalation

4- La pollution

La pollution est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme un sous-produit de l'action humaine, au travers des effets directs altérant les critères de répartition des flux de l'énergie, des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes. Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou au travers des ressources agricoles, en eau et en produits biologiques. Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objets physiques qu'il possède ou les possibilités récréatives du milieu (Ramade, 2002).

4-1- Pollution des eaux

La pollution de l'eau décrit généralement l'introduction ou la présence des substances nocives ou inacceptables dans l'ampleur suffisante pour modifier les indices de qualité de l'eau naturelle (Nsikak, 2008). La pollution de l'eau douce (par exemple par le biais de l'eutrophisation, l'acidification, et la pollution des eaux souterraines) est celle qui diminue sa pureté (Park, 2007).

5-Types de pollution de l'eau

5-1-Pollution physique

Il s'agit d'une pollution qui se traduit par la présence des particules de taille et de matière très variées dans l'eau ; qui lui confèrent un caractère trouble (figure 6). Elle peut être d'origine domestique, mais essentiellement industrielle. On peut la répartir en trois classes : mécanique, thermique et radioactive (**Galaf et Ghannam, 2003**).



Figure 06 : La pollution physique (Site 6).

5-1-1- Pollution mécanique

Résulte des décharges de déchets et de particules solides apportés par les eaux résiduaires industrielles, ainsi que les eaux de ruissellement. Ces polluants sont soit les éléments grossiers soit du sable ou bien les matières en suspension (**Galaf et Ghannam, 2003**).

5-1-2- Pollution thermique

Dans les eaux de refroidissement d'installations industrielles diverses, en gendre un appauvrissement des eaux en oxygène et une croissance bactérienne (**Mettahri, 2012**). La pollution par des substances radioactives est plus grave. Elle affecte directement les peuplements aquatiques en raison de la toxicité propre de ses éléments et des propriétés cancérigènes et mutagènes de ses rayonnements (**Galaf et Ghannam, 2003**).

5-2-Pollution chimique

La pollution chimique des eaux résulte de la libération de certaines substances minérales toxiques dans les cours d'eaux, par exemple : les nitrates, les phosphates, l'ammoniac et autres sels, ainsi que des ions métalliques (figure 7). Ces substances exercent un effet toxique sur les matières organiques et les rendent plus dangereuses.

Les polluants chimiques sont classés à l'heure actuelle en cinq catégories : les substances chimiques dites indésirables, les pesticides, les produits apparentés, les détergents et les colorants et autres éléments toxiques (**Hernot, 2016**)



Figure 07 : La pollution chimique (Site 7).

5-3-La pollution bactériologique

Il s'agit de bactéries qui proviennent principalement des rejets d'eaux usées (non traitées) contenant de la matière fécale et des déchets organiques (figure 8). Les bactéries pathogènes les plus fréquemment rencontrées sont les salmonelles dont la concentration en nombre est de l'ordre de 10^3 pour 100 ml d'effluent (**Behra, 2013**).

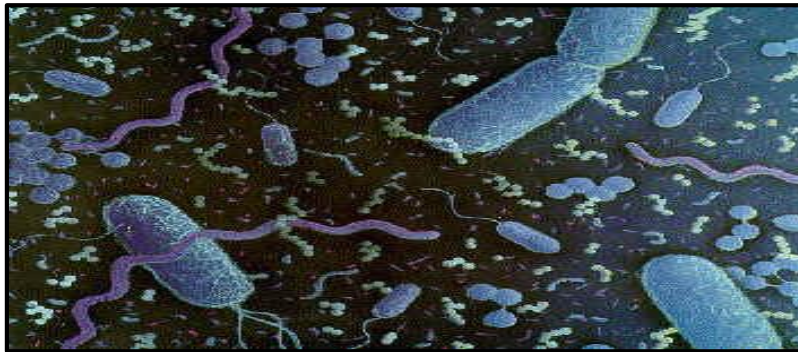


Figure 08 : La pollution bactériologique (Site 8).

6 - Caractéristique des eaux usées

6-1- Paramètres organoleptiques

6-1-1- La Couleur des eaux usées

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances en solution. Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration (**Rodier, 2005**).

6-1-2- Odeur

Les eaux résiduaires industrielles se caractérisent par une odeur. Toute odeur est pollution qui est due à la présence de matières organiques en décomposition (**Rejsek, 2002**).

6-2- Les paramètres physiques

Ils résultent de l'introduction dans un milieu des substances conduisant à son altération, se traduisant généralement par des modifications des caractéristiques physicochimiques du milieu récepteur. La mesure de ces paramètres se fait au niveau des rejets, à l'entrée et à la sortie des usines de traitement et dans les milieux naturels (**Rodier, 2005**).

6-2-1- La température

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

6-2-2- Le potentiel d'Hydrogène (pH)

Le pH varie de 6.98 à 7.98 du point de rejet jusqu'à une distance de 40 m. Cette différence est due à l'acidité entraînée par le rejet suivi d'une dilution de l'eau de mer. Les valeurs de pH mesurées dans les différents points sont très inférieures à celles de l'eau de mer naturelle. Il n'a pas de signification hygiénique mais il représente une notion importante de la détermination de l'agressivité de l'eau et la précipitation des éléments dissous (**Abd esselem, 1999**). Cependant, elles ne présentent pas de danger pour la faune et la flore, car seuls les pH inférieurs à 5 ou supérieurs à 9 sont mortelles pour les poissons (**Diagne et al., 2017**).

6-2-3- La turbidité

La turbidité est inversement proportionnelle à la transparence de l'eau, elle est de loin le paramètre de pollution indiquant la présence de la matière organique ou minérale sous forme colloïdale en suspension dans les eaux usées. Elle varie suivant les matières en suspension (MES) présentes dans l'eau (**Mohammed Saïd, 2012**).

6-3- Les paramétrés chimique

6-3-1- Les matières en suspension (MES)

Elles représentent, la fraction constituée par l'ensemble des particules, organiques ou minérales, non dissoutes de la pollution. Elles constituent un paramètre important qui marque bien le degré de pollution d'un effluent urbain ou même industriel (**Mohammed Saïd, 2012**).

6-3-2- Conductivité électrique (CE)

La conductivité d'une eau fournit une indication précise sur sa teneur en sels dissous (salinité de l'eau). Elle s'exprime en $\mu\text{S}/\text{cm}$ et elle est l'inverse de la résistivité qui s'exprime en ohm/cm . La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau (**Desjardins, 1997**).

6-3-3- La demande biologique en oxygène (DBO5)

La demande biochimique en oxygène est la quantité d'oxygène en mg/l consommée dans les conditions de l'essai de l'incubation à 20°C et pendant 5 jours à l'obscurité pour assurer, par voie biologique, l'oxydation des matières organiques biodégradables présents dans l'eau usée. C'est la quantité d'oxygène que les bactéries utilisent pour décomposer partiellement ou pour oxyder totalement en CO_2 les substances organiques dans l'eau, en un temps donné, à l'aide de leur système enzymatique (**Blifert, 2001**).

6-3-4- La demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène est la quantité d'oxygène consommée par les matières existantes dans l'eau et oxydable dans des conditions opératoires bien définies (**Rodier et al., 1996**). Elle est d'autant plus élevée qu'il y'a des corps oxydables dans le milieu. L'oxygène affecte pratiquement la totalité des matières organiques biodégradables et non biodégradables présents dans l'eau usée. La DCO est mesurée en $\text{mg d'O}_2/\text{l}$ (**Taradat et Henry, 1992**).

6-3-5- L'oxygène dissous

La concentration en oxygène dissous est importante pour la dégradation de la matière organique ainsi que la photosynthèse. Elle dépend directement de la température, la pression et la force ionique du milieu et est exprimée en $\text{mg O}_2/\text{l}$ (**Mettahri, 2012**).

6-3-6-Biodégradabilité

La biodégradabilité traduit l'aptitude d'un effluent à être décomposé ou oxydé par les microorganismes qui interviennent dans le processus d'épuration biologique des eaux. Cette biodégradabilité est exprimée comme suit par le coefficient K (**Mettahri, 2012**).

6-3-7- Carbone organique total (COT)

Il ne représente que le carbone présent dans les composés organiques. La valeur du COT détermine les composés difficilement ou non dégradables biochimiquement. Sa mesure est réalisée par un analyseur de CO₂ à infrarouge après combustion catalytique à haute température de l'échantillon (**Dugniolle, 1980**).

7- Autres éléments**7-1- Azote**

L'azote présent dans l'eau peut avoir un caractère organique ou minéral. L'azote organique est principalement constitué par des composés tels que des protéines, des polypeptides, des acides aminés. Le plus souvent ces produits ne se trouvent qu'à de très faibles concentrations. Quant à l'azote minéral, il constitue la majeure partie de l'azote total (**Ladjel, 2006**).

7-2- Nitrites NO₂⁻

Les nitrites constituent le stade intermédiaire entre les ions ammonium (NH₄⁺) et les nitrates. Les bactéries nitrifiantes (nitrosomonas) transforment l'ammonium en nitrites. Cette opération, qui nécessite une forte consommation d'oxygène, est la nitratisation. Les nitrites proviennent de la réduction bactérienne des nitrates, appelée dénitrification. Les nitrites constituent un poison dangereux pour les organismes aquatiques, même à de très faibles concentrations. La toxicité augmente avec la température (**Rodier, 2009**).

7-3- Nitrates NO₃⁻

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote. Leur présence associée aux autres éléments nutritifs stimule le développement de la faune aquatique. Les bactéries nitratantes (nitrobacters) transforment les nitrites en nitrates. Les nitrates ne sont pas toxiques ; mais des teneurs élevées en nitrates provoquent une prolifération algale qui contribue à l'eutrophisation du milieu. Leur potentiel danger reste néanmoins relatif à leur réduction en nitrates (**Mekhalif, 2009 et Rodier, 2009**).

7-4- Phosphore

L'apport journalier de phosphore est d'environ 4 g par habitant. Il est dû essentiellement au métabolisme de l'individu et l'usage de détergent. Les rejets varient d'ailleurs suivant les jours de la semaine (**Ladjel et Bouchefer, 2004**).

8- Les Normes des rejets des eaux usées

8-1- Les Normes Internationales

Un critère donné est rempli lorsque la norme, valeur limite supérieure ou inférieure, est respectée par un paramètre donné. Le (**Tableau 4**) illustre les normes internationales à respecter, lors du rejet des eaux usées (**OMS, 2006**).

Tableau 04 : Les normes internationales des eaux usées (**OMS, 2006**).

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

8-2- Les Normes Algériennes

Selon les normes algériennes les valeurs limites maximales de rejets d'effluents sont regroupées dans le tableau 5 (**Anonyme, 2006**).

Tableau 05 : Les normes algériennes des eaux usées (Anonyme, 2006).

Paramètres	Unité	Valeur limite
T	°C	30
pH	-	6.5-8.5
MES	mg/l	35
DBO ₅	mg/l	35
DCO	mg/l	120
Azote Kjeldahl	mg/l	30
Phosphates	mg/l	02
Phosphore total	mg/l	10

8-3- Les Normes Européennes

Une directive européenne relative aux eaux urbaines résiduaires a été adoptée par le conseil des Ministres de la Commission Economique Européenne le 21 mai 1991. Cette directive réglemente les niveaux des rejets des stations d'épuration des eaux usées urbaines (**Tableau 6**).

Tableau 06 : Les normes européennes des eaux usées

Paramètre	Normes	Unités
pH	-	5,5< PH <9,5
Température	°C	< 30°C, un écart de 5°C est toléré
DBO ₅	mg/l	25
DCO	mg/l	125
MES	mg/l	35
Azote	mg/l	15mg/l pour une charge brute de pollution entre 600 et 6000 kg/jour. 10mg/l pour une charge brute de pollution > 6000 kg/jour

Phosphore	mg/l	2mg/l pour une charge brute de pollution entre 600 et 6000 kg/jour. 1mg/l pour une charge brute de pollution > 6000 kg/jour.
Plomb	g/l	0,1
Hydrocarbures totaux	g/jour	5
Composées phénoliques	g/jour	5

Chapitre 2 :
L'épuration des eaux
usées

Introduction

Les eaux usées nécessitent des traitements supplémentaires, essentiellement pour éliminer les microorganismes qui pourraient poser des problèmes sanitaires. L'épuration nécessite une succession d'étapes faisant appel à des traitements physiques, physico-chimiques et biologique. On distingue généralement quatre étapes dans le traitement des eaux usées par voie biologique : les prétraitements, le traitement primaire, les traitements secondaires et la clarification. **(Mohammed Said, 2012)**

1- Définition de l'épuration

En assainissement, l'épuration constitue le processus visant à rendre aux eaux résiduaire rejetées la qualité répondant aux exigences du milieu récepteur. Il s'agit donc d'éviter une pollution de l'environnement et non de produire de l'eau potable **(Saggai, 2004)**.

1-1- Principe d'épuration

Ce procédé consiste à mettre en contact l'eau à épurer avec une forte concentration en microorganismes pour la biodégradation des composés organiques de l'eau, ce qui aboutit à la production de gaz carbonique, l'élimination d'autres composés tels que l'azote et le phosphate. Dans le bassin d'aération, les bactéries se trouvent en suspension sous forme de floc bactérien formant un écosystème complexe avec des protozoaires et des métazoaires. La biomasse épuratrice est par la suite séparée de l'eau épurée dans un clarificateur par simple décantation et les boues concentrées sont récupérées au fond de l'ouvrage. Ainsi, l'eau traitée se retrouve en surface. Environ 97% des boues rejoignent la tête du bassin d'aération afin de maintenir une concentration stable et suffisante en biomasse alors que les 3% des boues en excès sont traitées spécifiquement **(Dmotta, 2001)**.

2- La station d'épuration

Elle constitue une autre voie d'élimination des eaux usées dans la mesure où celles-ci y subissent toute une batterie de traitements avant leur déversement dans le milieu naturel. Une STEP, généralement placée à l'extrémité aval d'un réseau, est conçue pour épurer les eaux usées et limiter l'apport en excès de matières organiques et dans certains cas, de substances minérales telles les nitrates et les phosphates dans les milieux récepteurs, en fait, certaines substances contenues dans un effluent, à partir d'une certaine concentration, peuvent constituer un danger pour la communauté aquatique, par conséquent l'épuration des eaux usées diminue l'impact sur les écosystèmes aquatiques **(Briere,1994)**.

Donc une STEP traite les eaux, protège l'environnement, protège la santé publique, valorise éventuellement les eaux épurées et les boues issues du traitement (**Site 9**).

3-Les différents modes de collècte

Le réseau d'assainissement est composé de l'ensemble des ouvrages chargé de la collecte et du transport des ERU jusqu'à la station d'épuration. En règle générale, la circulation de l'eau se fait de manière gravitaire selon la pente donnée aux canalisations. A certains endroits du réseau, il est obligatoire de relever le niveau des canalisations afin que la circulation continue à se faire de manière gravitaire. Un réseau ne doit pas comporter de raccordement de rejet risquant de la dégrader ou de dégrader la station. Il doit y avoir une sélectivité et un contrôle des branchements (**Rejesk, 2002**).

3-1-Le réseau séparatif

Deux réseaux distincts sont mis en place : l'un pour évacuer les eaux pluviales et l'autre pour évacuer les eaux usées. Dans ce système seules les eaux domestiques arrivent à la station d'épuration. L'inconvénient majeur est le coût de la mise en place car il faut deux réseaux dont le pluvial reste d'un diamètre important (**Rejesk, 2002**).

3-2-Le réseau unitaire

Un seul collecteur assure le transport à la fois des eaux domestiques et des eaux pluviales. En principe toutes ces eaux doivent arriver à la station avec un effluent de qualité et de quantité très variable (**Rejesk, 2002**).

3-3- Le système mixte

Il s'agit d'une station où, dans la même agglomération, se trouvent des zones d'habitation desservies par un réseau de type unitaire et de zones desservies par un réseau de type séparatif (**Rejesk, 2002**).

4- Procédé de traitement des eaux usées

Le traitement des eaux usées est ainsi dans les stations d'épuration. D'un point de vue technique ; une station d'épuration a pour principal travail de dégrader et de séparer les polluants de l'eau (boues ; particules et substances dissoutes) par des procédés chimiques ; physique et biologique.

Certaines eaux usées sont plus difficiles à traiter que d'autres, par exemple, les eaux usées industrielles peuvent être difficile à traiter, tandis que les eaux usées domestiques sont relativement plus faciles (**Moumene et Djemane, 2011**).

4-1- Les prétraitement

A pour objectif l'élimination des éléments les plus grossiers qui sont susceptibles de gêner les traitements ultérieurs et d'endommager les équipements ; il s'agit des déchets volumineux tels que les sables, les graviers et les graisses (**Aouadi et al., 2007**).

4-1-1- Dégrillage

Il permet de séparer et d'évacuer les matières volumineuses contenues dans les eaux usées : papier, feuilles, cigarette. Il est constitué d'une grille à barreaux de 6mm d'écartement. Les déchets sont compactés pour réduire leur volume et envoyés à une filière de traitement adaptée (**Moumene et Djemane, 2011**).

4-1-2- Dilacération

Cette opération concerne particulièrement les eaux résiduaires. Elle a pour but de broyer les matières solides et les transformer en particules plus fines qui sont envoyées vers les décanteurs. Cette opération peut être mise en œuvre en remplacement du dégrillage fin (**Ouali, 2001**).

4-1-3- Tamisage

Cette opération constitue un dégrillage fin. Elle est mise en œuvre dans le cas d'eaux résiduaire chargées de matière en suspension de petit taille (eaux usées d'abattoirs et de conserveries des légumes). En distingué :

- Le macro-tamisage (dimensions de mailles $>250\mu\text{m}$).
- Le micro-tamisage ($30\mu < \text{vide de maille} < 150\mu\text{m}$) (**Ouali, 2001**).

4-1-4- Dessablage

Débarrasse les eaux usées des sables et des graviers par sédimentation. L'écoulement de l'eau à une vitesse réduite, dans un bassin appelé dessableur, permet l'extraction des sables. Ces particules sont ensuite aspirées par une pompe puis lavées et essorée pour être réutilisées (**Moumene et Djemane, 2011**).

4-1-5- Dégraissage - déshuilage

C'est une opération destinée à éliminer les graisses et les huiles présentes dans les eaux résiduaire (station-service, abattoirs, industries alimentaires, etc. ...) (**Ouali, 2001**).

4-2- Traitement primaire

Il consiste en l'enlèvement des solides organiques et inorganiques sédimentables ainsi que des matériaux flottants. La décantation des matières dans un bassin est déterminée par l'indice de Mohlman, il est défini par le rapport entre le volume de boues décantes en demi-heure, et la masse des matières en suspension contenues dans ce volume (**Ouali, 2001**).

4-2-1- Décantation physique

C'est un procédé de séparation des matières en suspension et de colloïdes rassemblés en floc dont la densité est supérieure à celle de l'eau. Elle s'effectue selon un processus dynamique, en assurant la séparation des deux phases solide-liquide de façon continue. Les particules décantées s'accumulent au fond du bassin, d'où on les extrait périodiquement. L'eau récoltée en surface est dite clarifiée. Elle est dirigée vers un autre stade d'épuration (**Mekhalif, 2009**).

4-2-2- Décantation physico-chimique

Si les particules sont très fines (colloïdales), elles peuvent rester en suspension dans l'eau très longtemps. Elles n'ont pas tendance à s'accrocher les unes aux autres. Pour les éliminer, il faut utiliser des procédés de coagulation et de floculation qui ont pour but de déstabiliser les particules en suspension et faciliter leur agglomération par l'injection des réactifs tels que : le sulfate d'alumine, les sulfates ferriques pour coagulation. Pour la floculation on trouve : les floculants minéraux, les floculants organiques (**Gaid, 1984**).

4-3- Traitement secondaire (biologique)

L'élimination des matières organiques implique le recours à des traitements biologiques qui font intervenir des organismes vivants essentiellement des bactéries. Ces procédés biologiques, plus souvent aérobie, reposent sur la biodégradation des matières organiques en présence d'oxygène par des micro-organismes hétérotrophes. Ces procédés reproduisent les phénomènes naturels d'autoépuration qui se réalisent dans le milieu naturel (**Rejesk, 2002**).

4-3-1- Procédés biologiques intensifs

4-3-1-1- Disque biologique (cultures fixées)

Les disques biologiques ou biodisques sont des disques enfilés parallèlement sur un axe horizontal tournant (figure 9). Ces disques plongent dans une auge, où circule l'eau à épurer ayant subi une décantation. Pendant une partie de leur rotation ils se chargent de substrat puis ils émergent dans l'air le reste du temps pour absorber de l'oxygène. Les disques sont recouverts par un biofilm sur les deux faces. Ils ont un diamètre de 1 à 3 m, sont espacés de 20mm et tournent à une vitesse de 1 à 2 tr/mn. Les boues en excès se détachent du disque et sont récupérées dans un clarificateur secondaire avant leur rejet dans le milieu naturel (Boumediene, 2013).

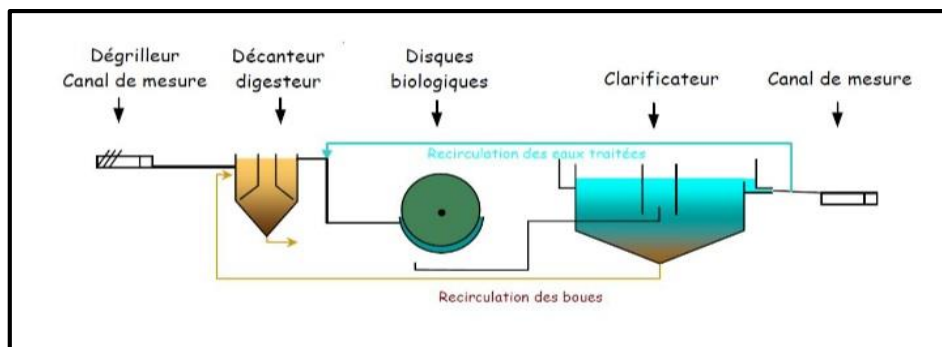


Figure 09 : Les disques biologiques (Site 10).

4-3-1-2- Lits bactériens (cultures fixées)

Le principe de fonctionnement d'un lit bactérien consiste à faire ruisseler les eaux usées, préalablement décantées, sur une masse de matériaux poreux ou caverneux qui sert de support aux micro-organismes (bactéries) épurateurs (figure 10). Une aération est pratiquée soit par tirage naturel soit par ventilation forcée. Il s'agit d'apporter l'oxygène nécessaire au maintien des bactéries aérobies en bon état de fonctionnement (Gaid, 1984).

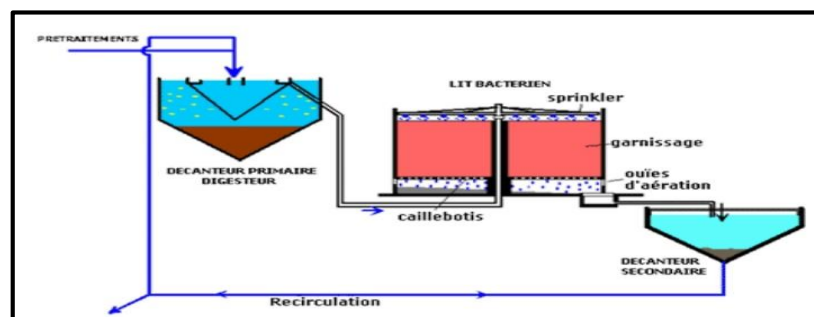


Figure 10 : Schéma du procédé à lit bactérien (Site 11).

4-3-1-3- Boues activées (culture libre)

Dans les conditions idéales d'aération, les micro-organismes d'une eau usée se développent et s'agglomèrent en floccs. Au repos, ces derniers se séparent très bien de la phase liquide par décantation (figure 11). Le principe du procédé à boues activées consiste donc à provoquer le développement d'un flocc bactérien dans un bassin alimenté en eau usée à traiter (bassin d'aération). Afin d'éviter la décantation des floccs dans ce bassin, un brassage vigoureux est nécessaire. La prolifération des micro-organismes nécessite aussi une oxygénation suffisante (Dhaoudi, 2008).

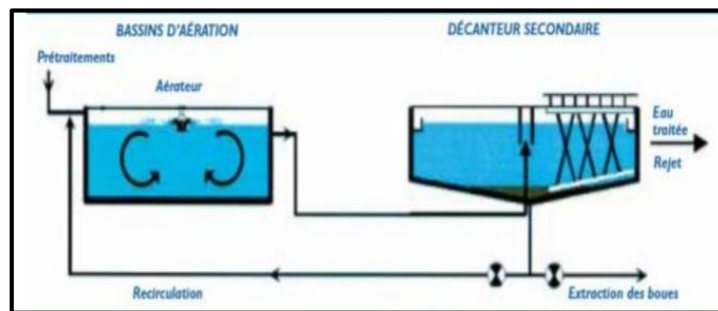


Figure 11 : Principe de boue activée (Site 12).

4-3-2- Procédés biologiques extensif

Les techniques extensives consistent à reconstituer des écosystèmes artificiels optimisés dans lesquels se reproduit le phénomène d'autoépuration de façon à protéger l'écosystème naturel. Son application nécessite des grandes étendues et des charges par unité de surface faible, de l'ordre de 3 à 5 m²/EH. Elles sont adaptées aux collectivités rurales de moins de 2 000 EH et aux zones d'habitats dispersés (Branchart, 2007).

En fait, le phénomène d'autoépuration désigne le processus biologique naturel par lequel les polluants organiques vont se transformer dans le milieu aquatique (Veolia, 2008). Les techniques extensives sont regroupées dans le tableau n°7).

Tableau 7 : Techniques extensives utilisées aux procédés biologiques de traitement des eaux usées (Branchart, 2007).

Cultures libres	Cultures fixées
Lagunage naturel	Filtre planté à écoulement horizontal
Lagunage aéré	Filtre planté à écoulement vertical
Lagunage planté ou à macrophytes	Filtre à sable à écoulement vertical

4-3-2-1- Le lagunage

Le lagunage est un procédé biologique naturel qui utilise le phénomène d'autoépuration pour stabiliser l'équilibre du milieu aquatique (figure 12). Il reçoit l'effluent brut prétraité dans le premier bassin construit artificiellement. Les micro-organismes (microphytes) présents dans l'eau, à l'état libre, vont absorber de la pollution dissoute. Il s'ensuit une décantation de la matière organique, puis une minéralisation dans le second bassin. L'activité bactérienne et le développement des algues vont contribuer à l'épuration de l'effluent qui sera récupéré à partir du troisième bassin planté des macrophytes, supports de fixation pour les microphytes. La boue produite se trouve alors piégée au fond des bassins artificiels (Veolia, 2008).

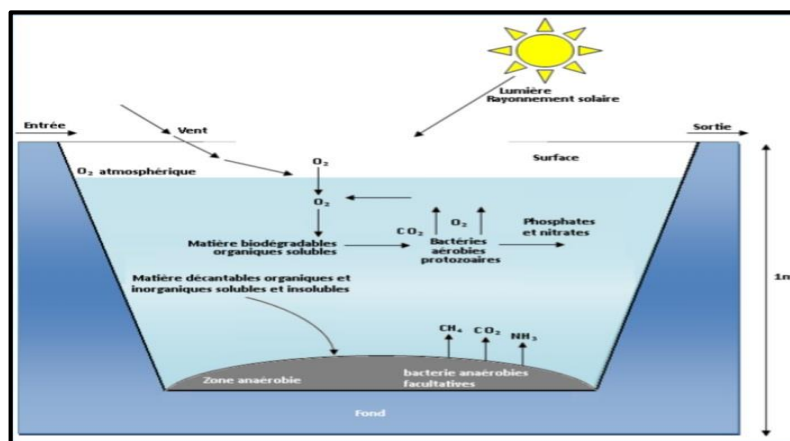


Figure 12 : Mécanisme de lagunage (El Haite, 2011).

4-3-2-2- Les filtres plantés

Les filtres plantés sont constitués des bassins artificiels munis d'une masse filtrante (sable, graviers, ou cailloux), dans lesquels transitent les effluents bruts (prétraités ou non).

La pollution organique est dégradée naturellement par les bactéries fixées sur les massifs et macrophyte qui leurs servent de supports (figure 13). L'aération est faite par diffusion sur la surface du filtre, soit en alternant les phases d'alimentation et de repos (filtre vertical), soit naturellement de façon continue (filtre horizontal). La diffusion de l'oxygène vers la profondeur du filtre est facilitée par la présence des végétaux et par la cheminé d'aération des drains inférieurs (**Bronchart, 2007**).

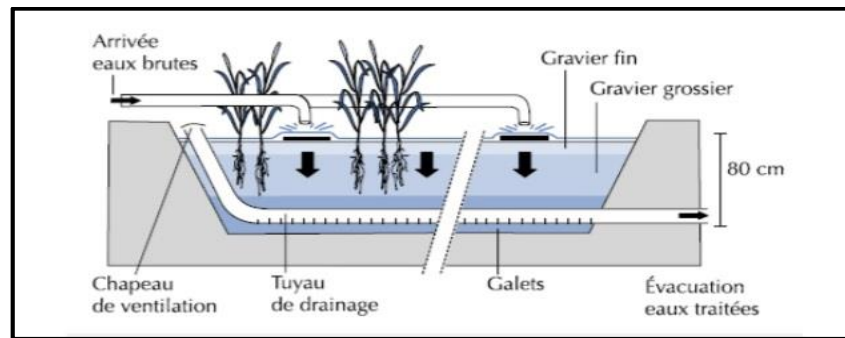


Figure 13 : filtres plantés de roseaux (Site 13).

4-3-2-3- Les filtres à sable

Le filtre à sable à écoulement vertical (infiltration-percolation) est constitué d'une masse filtrante composée uniquement du sable (figure 14). Cette unité peut servir aussi d'étage de finition après les unités de traitement intensif classique (**Bronchart, 2007**).

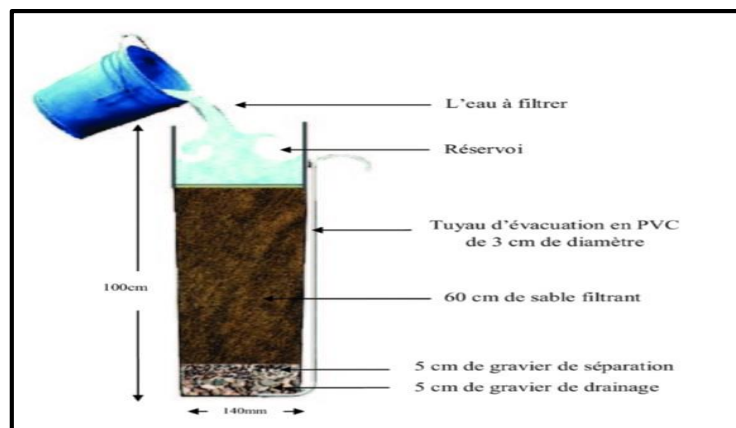


Figure 14 : les filtres à sable (Site 14).

4-4- Traitement tertiaires

Certains rejets d'eaux traitées sont soumis à des réglementations spécifiques concernant l'élimination d'azote, de phosphore ou des germes pathogènes, qui nécessitent la mise en œuvre de traitements tertiaires. Il regroupe toutes les opérations physiques et chimiques qui complètent les traitements primaires et secondaires (**Rejsek, 2002**).

4-4-1- L'élimination de l'azote

Les stations d'épuration n'éliminent qu'environ 20% de l'azote présent dans les eaux usées, par les traitements de nitrification-dénitrification (**Rejesk, 2002**).

- **La nitrification** : est une étape du traitement d'une eau usée qui vise la transformation de l'ammonium (NH_4^+) en nitrate (NO_3^-). Cette transformation est réalisée par des bactéries, dans un milieu aérobie (**Dahou et Brek, 2013**).
- **La dénitrification** : est un processus anaérobie qui réduit les nitrates en azote et on oxyde d'azote. Les microorganismes utilisent les nitrates comme source oxydant à la place de l'oxygène et en présence d'une source de carbone organique qui doit être apportée dans le milieu (**Dahou et Brek, 2013**).

4-4-2- L'élimination du phosphore

Réaliser par des voies physicochimiques ou biologiques. En ce qui concerne les traitements physico-chimiques, l'adjonction de réactifs, comme des sels de fer, permet d'obtenir une précipitation de phosphates insolubles et leur élimination par décantation. Ces techniques plus utilisées actuellement élimine entre 80% et 90% du phosphore (**Dahou et Brek, 2013**).

Chapitre 3 :
La composition de la
boue activée

Introduction

Les boues sont définies par le Comité Européen de Normalisation comme un mélange d'eau et de matières solides. Séparées par des procédés naturels ou artificiels des divers types d'eau qui les contiennent. Les boues sont issues du traitement des eaux usées domestiques ou industrielles **(Boucheikh et Menouer, 2014)**

1-Définition de la boue activée

C'est un liquide marron à gris se composent de particules de boues, grouillant d'organismes vivants, produites dans des eaux usées brutes ou décantées par la croissance d'organismes (qui comprennent des bactéries) dans des réservoirs d'aération où l'oxygène dissous est présent et de débris végétaux et minéraux. L'étude des micro-organismes présents ainsi que celle des relations qu'ils établissent entre eux permettent de comprendre les phénomènes d'épuration biologique **(Rejsek, 2002)**.

2- Types des boues

Il existe quatre types de boues, à savoir des boues primaires, des boues secondaires (boues biologiques, boues activées), des boues physico-chimiques et des boues mixtes (tableau 08), issues de différents procédés de traitement des EU **(Canler et al., 2014)**.

2-1-Les boues primaires

Ce sont des boues à simple décantation d'eaux résiduaires urbaines. Elles sont issues du traitement primaire et sont produites par simple décantation, en tête de station d'épuration. Ces boues sont fraîches, c'est-à-dire non stabilisées et fortement fermentables (forte teneur en matière organique). De par la nature des nouvelles installations, elles tendent à disparaître **(Rejsek, 2002 et Addou, 2009)**.

2-2-Les boues secondaires (boues activées)

Ce sont des boues secondaires de traitement biologique aérobie à moyenne et forte charge. Elles sont des boues fraîches, récupérées par séparation gravitaire dans le bassin de décantation **(Addou, 2009)**.

2-3- Les boues mixtes

Le mélange des boues primaire et secondaire permet d'obtenir des boues mixtes. Leur composition est dépendante des taux de chaque type de boue. Les boues mixtes nécessitent un traitement de stabilisation (**Addou, 2009**).

2-4- Les boues physico-chimiques

Ces boues sont issues d'un traitement utilisant des flocculants minéraux (sel de fer ou d'aluminium). Le traitement physico-chimique est principalement utilisé pour les boues industrielles pour éliminer le phosphore (**Degrémont, 1989 et Léonard, 2002**)

On distingue aussi les boues urbaines et les boues industrielles. Les premières sont produites dans les stations d'épuration traitant des effluents dits (urbains), c'est-à-dire majoritairement des eaux usées d'origine domestique. Les secondes sont issues du traitement des eaux usées industrielles. Ces dernières sont le plus souvent traitées directement en aval de leur production (**Degrémont, 1989 et Léonard, 2002**)

Tableau 8 : Différents types de boues de STEP (Amorce, 2006).

Type de boue	Boues primaires	Boues biologiques	Boues mixtes	Boues Physicochimiques
Origine	Traitement primaire par décantation	Traitement biologique secondaire	Traitement primaire et secondaire	Décantation après traitement avec un réactif
Composition et siccité	Matière inorganique	Composés organiques avec faible pourcentage de composés inorganiques	Mélange de boues primaires et de boues biologique	
	Couleur grise Siccité 5%	Boue granulaire, de couleur brun jaunâtre, pulvérulente et	Siccité 5%	Siccité 4-5%

		de décantation difficile Siccité 1-2%		
--	--	---	--	--

3- La composition microbiologique de la boue activée

Les micro-organismes présents dans les boues activées peuvent être divisés en trois catégories : les bactéries floculantes, les bactéries filamenteuses (microflore) et les eucaryotes tels que les protozoaires et les métazoaires, y compris les flagellés, les ciliés et les rotifères (Jenkins, Richard et Daigger, 2004)

3-1- Le floc bactérien

La composition des flocs bactériens comprend les éléments suivants : des micro-organismes (principalement des bactéries), de la matière organique et de la matière inorganique sous forme de cations et d'anions (Frolund et al., 1996). En termes biochimiques, ces flocs bactériens ou bio-agrégats sont composés de cellules et de matières organiques situées sur et en dehors d'eux caractérisées par des substances polymériques extracellulaires (EPS) (Cioci, 2006).

Les EPS sont responsables, d'une part, de la digestion enzymatique de substrats organiques de grande taille et de leur transformation en d'autres molécules simples et plus accessibles aux micro-organismes (Frolund et al., 1996 ; Guelil et al., 2001).

La floculation bactérienne est favorisée par divers phénomènes qui se produisent dans les boues activées :

- Rapport entre la concentration en substrats et la qualité de biomasse qui favorise la sécrétion des polymères bactériens ;
- Action de la microfaune prédatrice qui consomme essentiellement des bactéries libres ;
- Sélection des bactéries floculées par rapport aux bactéries libres par le système de décantation, permettant de recycler les flocs bactériens qui sédimentent dans le réacteur biologique (Rejsek, 2002).

3-2- Le liquide interstitiel

Dans la plupart des usines, elle représente la qualité de l'eau qui quitte l'usine. Il est donc un indicateur du niveau de traitement.

Plus la charge massique est élevée, plus le niveau de traitement est faible et plus les bactéries sont dispersées dans l'eau interstitielle (**Canler, 2005**).

3-3- La microflore

Les bactéries sont des micro-organismes unicellulaires de formes diverses (cylindriques, sphériques, incurvées, ...), dont la taille est de l'ordre de quelques microns (de 0,5 à 5 μm), à l'exception des bactéries filamenteuses, qui ont une taille souvent supérieure (de 10 à plus de 500 μm) et peuvent être pluricellulaires. Dans les boues activées, les bactéries sont principalement des aérobies facultatives, Gram-négatives, mobiles et provenant principalement du sol ou de l'eau (**Canler et al., 2014**).

3-3-1- Le métabolisme bactérien

Dans des conditions spécifiques (charge massique donnée), une partie de la pollution à traiter, de l'ordre de 50% est utilisée par le métabolisme bactérien (synthèse cellulaire). L'excédent étant stocké sous forme de sucre complexes (20% catabolisme, 30% anabolisme, 50% réserves des sucres complexes) (**Canler et al., 2014**).

3-3-2- Processus métaboliques

Les principales relations au sein de la communauté biologique sont complexes et basées sur la prédation, la compétition et même le cannibalisme (**Canler et al., 2014**).

3-4- La microfaune

La microfaune est l'ensemble des animaux microscopiques composés de protozoaires et de métazoaires. Ces organismes contribuent à l'élimination des bactéries libres qui constituent leurs proies et à la cohésion du floc. Leur observation au microscope donne une indication sur la qualité du traitement (**Chergui et al., 2016**).

Bien qu'elle n'ait pas de valeur systématique. Certains considèrent que la microfaune ne comprend que les animaux dont la taille est inférieure à 200 μm ; d'autres considèrent la microfaune comme un groupe plus large comprenant les animaux dont la taille est inférieure à 1 ou 2 mm La microfaune comprend les nématodes, les très petits arthropodes et quelques autres animaux d'importance très secondaire (**Davet, 1996**).

Tableau 9 : Les avantages et inconvénients des boues activées (El Haité, 2010).

Avantages	Inconvénients
- Emprise au sol réduit. - Grande performance d'élimination de la DBO₅, la DCO et les MES.	- Coûts d'inversement élevée, - Sensibilité aux variations de charge hydraulique et organique, - Nécessité d'un entretien fréquent des ouvrages (main d'œuvre qualifiée), - Coût d'exploitation (énergétique) élevé, - Faibles performances en matière d'élimination des agents pathogènes.

4- Propriétés et caractéristiques des boues

4-1- Propriétés chimiques des boues

4-1-1- Les matières organiques

Elles sont constituées d'un grand nombre de composés qui ont la particularité commune de posséder au moins un atome de carbone, d'où leur nom de substances carbonées, ces atomes de carbone sont oxydés biologiquement par les micro-organismes pour fournir l'énergie nécessaire à leur croissance (Hadj-Sadok, 1999).

4-1-2- Les substances nutritives

Comme l'azote, le phosphore et le potassium indispensables à la vie des végétaux, ces éléments en quantités appréciables mais en proportions très variables sont rapportés aux végétaux (Faby et Brissaud, 1997).

4-1-3- Les micropolluants organiques et non organiques

Les micropolluants sont des éléments présents en quantité infinitésimale dans les eaux usées. Leur voie de contamination principale est l'ingestion. Ainsi, certains micropolluants, comme les pesticides, peuvent s'accumuler dans les tissus des organismes vivants notamment dans les plantes cultivées ce qui entraîne une contamination de la chaîne alimentaire par concentration de ces polluants dans les organismes (Baumont et al., 2004).

4-1-4- Les sels minéraux

Présents naturellement dans l'eau en faible quantité, les sels minéraux (chlorures ou sulfates de calcium, de magnésium, de sodium ou de potassium) peuvent voir leur concentration s'élever à la suite de rejets industriels, cela peut nuire à la biologie aquatique (**Abdallah, 2016**).

4-2- Propriétés biologiques

On dénombre de très nombreux types de bactéries dans les boues. Une partie de celle-ci est d'origine fécale et certaines proviennent de porteurs de germe, elles peuvent donc être pathogènes. Ce qui concerne les virus, on trouve des entérovirus, des adénovirus et des rétrovirus sur les matières organiques des boues.

Dans les boues primaire et secondaire on trouve des algues, par contre dans le lagunage naturel, une grande partie de boues est constituée de détritits d'algues. Dans les boues activées on trouve des larves, des insectes, des crustacés et même parfois de petites araignées (**Karoune, 2007**).

4-3-Propriétés physiques des boues

Les boues d'origine primaire ou secondaire se présentent sous forme d'un liquide contenant des particules homogènes en suspension, leur volume représente de 0.05 à 0.5% du volume d'eau traitée pour les boues fraîches alors qu'il est légèrement inférieur pour les boues activées et autres procédés biologique, la floculation de l'eau augmente le volume des boues surtout leur poids de 10% environ (**Karoune, 2007**).

4-3-1-La couleur

La couleur des boues varie entre le brun et le gris et leur odeur et souvent très désagréable car ce sont des produits facilement fermentescibles et il y a un début de décomposition. Pour leur traitement ultérieur, on a besoin de connaître plusieurs paramètres qui définiront leur aptitude à la déshydratation et à la filtration (**Gaid, 1984**).

4-3-2-La teneur en matière sèche

C'est le poids du résidu sec après chauffage à (105°C) jusqu'au poids constant. Elle est exprimée généralement en pourcentage, celui-ci varie de 3 à 8 % de matière sèche (**Becker, 1999**).

4-3-3-La teneur en matière volatile

Elle est mesurée par la différence entre le poids de boues sèches (105°C) et celui de cette même boue après chauffage jusqu'au poids constant à 550°C. Cette teneur varie de 60 à 85% des matières sèches (**Karoune, 2007**).

4-3-4- La teneur en eau

L'eau contenue dans les boues se présente sous quatre grandes classes : l'eau libre, l'eau interstitielle, l'eau vicinale et l'eau d'hydratation. L'eau libre s'élimine facilement par filtration ou décantation (**Karoune, 2007**).

4-3-5-La siccité

Les boues sont constituées d'eau et de matières sèches. La siccité est le pourcentage massique de matières sèches. Ainsi une boue avec une siccité de 10% présente une humidité de 90% (**Guibilin, 1999**).

4-3-6- La consistance des boues

C'est une donnée obligatoire à connaître pour toute manipulation des boues. La consistance est un état physique dépendant de la siccité :

- Boues liquides : siccité 0 à 10% ;
- Boues pâteuses : siccité de 10 à 25% ;
- Boues solides : siccité de 25 à 85% ;
- Boues sèche : siccité supérieure à 85% (**Roque, 1983 et Guibilin, 1999**).

5- Formation des boues activées

La formation des boues comprend essentiellement trois étapes : transfert, conversion et floculation.

5-1- Transfert

Le transfert de la matière organique vers le microorganisme se produit essentiellement par deux processus simultanés, à savoir l'absorption et l'adsorption. La matière organique soluble est absorbée en passant directement à travers la membrane cellulaire. Les matières particulaires et colloïdales en suspension dans le liquide sont adsorbées sur la membrane cellulaire et transformées par dissociation des molécules, en matière soluble capable d'être absorbée par la cellule (**Bioma, 2006**).

5-2-Conversion

La conversion de la matière organique désigne le métabolisme cellulaire responsable de la dégradation des polluants organique (**Bioma, 2006**).

5-3- Flocculation

Se traduit lorsque les microorganismes sont rassasiés et que leur activité diminue. Cette phase exige une eau calme, comme pendant la sédimentation (**Bioma, 2006**).

6-Traitement des boues activée

La composition des boues urbaines est fonction de la nature de la charge polluante des effluents bruts et des techniques de traitements. On distingue ainsi les boues primaires obtenues uniquement par des procédés physiques, les boues physico-chimiques par injection des réactifs, et les boues biologiques par action de flocculation biologique à cultures libres ou fixées. Les boues extraites, sont à des concentrations variant de 10 à 60 g/L et présentent un taux de matières organiques allant de 40 à 70 % (**Bourrier et al., 2017**).

6-1- Epaississement

Les procédés d'épaississement réduisent le volume des boues en extrayant leur eau. Ils sont très simples et peuvent être utilisés pour les stations des petites collectivités car ils n'entraînent pas de dépense d'énergie de fonctionnement, et entraînent une réduction importante du volume des boues. Les boues collectées peuvent subir ou non un traitement (stabilisation ou stockage) en vue d'une éventuelle valorisation, à des fins d'épandage par exemple (**Cerra et Desagnat, 2014**).

6-2- Stabilisation

Il s'agit de réduire le caractère fermentescible des boues et donc, notamment, d'éliminer les mauvaises odeurs. Les traitements de stabilisation des boues peuvent être appliqués des boues fraîches mélangées ou uniquement des boues issues du traitement secondaire des eaux usées (**Karoune, 2008**).

6-2-1- Voie aérobie

Les boues sont aérées afin de permettre aux micro-organismes aérobies de dégrader les matières organiques. La digestion aérobie peut se faire dans le bassin d'aération dans le cas de l'épuration par aération prolongée ou dans un bassin aménagé (**Plagellat, 2004**).

6-2-2- Voie anaérobie

La stabilisation par voie anaérobie, appelée digestion anaérobie, est une fermentation bactérienne réalisée dans une cuve appelée digesteur. Les bactéries dégradent la matière organique en dioxyde de carbone et en méthane (**Amadou, 2007**).

6-3- Conditionnement des boues

Le conditionnement des boues a pour but d'assurer la floculation de la boue pour faciliter le drainage, la filtration ou la centrifugation, ce qui optimise la déshydratation (**Bourrier et al., 2017**). Le conditionnement est souvent obtenu thermiquement, chimiquement par polymère ou par chaux (**Veolia Eau, 2008**).

6-4- Déshydratation

La déshydratation, qui correspond à une augmentation forte de siccité, modifie l'état physique des boues, celles-ci passent de l'état liquide à l'état pâteux ou solide. Il existe deux procédés principaux, le procédé filtre bande et le procédé filtre presse. Pour le procédé filtre bande, les boues sont déversées entre deux bandes continues verticales de toiles synthétiques se déroulant entre deux rouleaux presseurs puis acheminées vers une aire de stockage. Pour le deuxième procédé, les boues sont injectées dans des filtres presses (**Cherifi, 2013**).

6-5- Séchage

C'est une déshydratation quasi-totale des boues par évaporation de l'eau qu'elles contiennent : la réduction de volume qui en résulte est conséquente (**Karoune, 2008**).

6-6- Elimination des boues

L'élimination des boues peut se faire 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 (**Veolia Eau, 2008**).

7- Destination final des boues

7-1- Utilisation agricole

Réglementairement, pour être épandues, les boues doivent présenter un intérêt agronomique. Certaines sont assimilées à des engrais car elles contiennent des éléments fertilisants (azote, phosphore) très intéressants pour les cultures. De ce fait, les apports de matières organiques peuvent se substituer en partie aux engrais de synthèse (**ADEME, 1996**).

7-2- Mise en décharge

Elle consiste à enfouir les boues souvent mélangées avec les ordures ménagères selon les principales conditions suivantes : site étanche, compactage des résidus, récupération et traitement des jus de décharges (lixiviats), etc. Afin d'éviter toute nuisance au niveau du stockage, les boues doivent être débarrassées des matières organiques fermentescibles. La mise en décharge contrôlée de la boue nécessite des opérations préliminaires de stabilisation et de déshydratation poussée (**Satin et Selmi, 2006**).

7-3- L'incinération

La technique d'incinération est généralement utilisée pour les grandes stations d'épuration urbaines (**Satin et Selmi, 2006**). L'incinération des boues s'opère dans un incinérateur, qui permet de contrôler la température de combustion et de récupérer les gaz émis pendant cette combustion (**Site 15**).

8 -Production des boues en Algérie

En Algérie environ 732 millions de m³ de boue d'épuration sont produite chaque année à raison d'environ 539 tonnes par jour sur les 150 stations d'épuration en exploitation. Ces boues sont destinées à subir des traitements qui ont pour objectif de réduire le volume de boue et de les valoriser par une réutilisation à des fins agricoles, permettant ainsi d'enrichir les sols sans recourir à des engrais chimiques, ou encore de valoriser leur potentiel énergétique sous forme de biogaz (**I'ONA, 2013**).

Chapitre 4 :
La microfaune de la
boue activée

Introduction

La faune et la flore bactériennes, également appelées biomasse, représentent tous les organismes vivants présents dans les boues activées. Les bactéries sont présentes dans les boues activées. Les bactéries sont les principaux acteurs du processus d'épuration, les formes biologiques (protozoaires, métazoaires, etc...) qui gravitent autour d'elles, sont indispensables à l'équilibre de l'écosystème. Les espèces varient selon le type de station d'épuration et ses caractéristiques de fonctionnement (**Rejsek, 2002**).

1-Définition de la microfaune

La microfaune est composée d'animaux microscopiques dont la taille est inférieure à 200µm (**Davet, 1996**). Elle est composée principalement de protozoaires et de métazoaires. Ces organismes participent à l'élimination des bactéries libres par prédation, participant ainsi à la cohésion du floc par leurs déjections. Leur observation microscopique régulière, donne des indications quant à la qualité du traitement (**Chergui et al., 2016**).

2- Composition de la microfaune**2-1- Embranchement des protozoaires**

Les protozoaires sont en majorité hétérotrophes, libres et aquatiques, dont les principales caractéristiques sont la mobilité, l'absence de paroi cellulaire et de couleur. Certains sont symbiotes (**Kahim et Idabdellah, 2013**).

Dans les boues activées, le rôle principal des protozoaires est de clarifier l'effluent en prédation les bactéries libres. Les protozoaires sont de très bons indicateurs des stations d'épuration. En effet, cette microfaune est très sensible aux substrats environnementaux, à l'oxygène dissous et aux substances toxiques. La prédation peut prendre la forme de protozoaires rampants qui broutent les bactéries à la surface des protozoaires. Par ailleurs, certains auteurs notent que le rôle des bactériophages au niveau des flocs permet de maintenir des populations bactériennes jeunes qui peuvent plus facilement assimiler la matière organique (**Kahim et Idabdellah, 2013**).

Leur classification est basée sur leur mode de locomotion c'est-à-dire selon :

- La présence de flagelles pour les flagellés (mastigophorea) ;
- La présence de pseudopodes pour les sarcodines ;
- La présence de cils pour les ciliés (**Canler et al., 2014**).

Dans la littérature on trouve des classifications variables pour les protozoaires (figure 15) (Damotta, 2001).

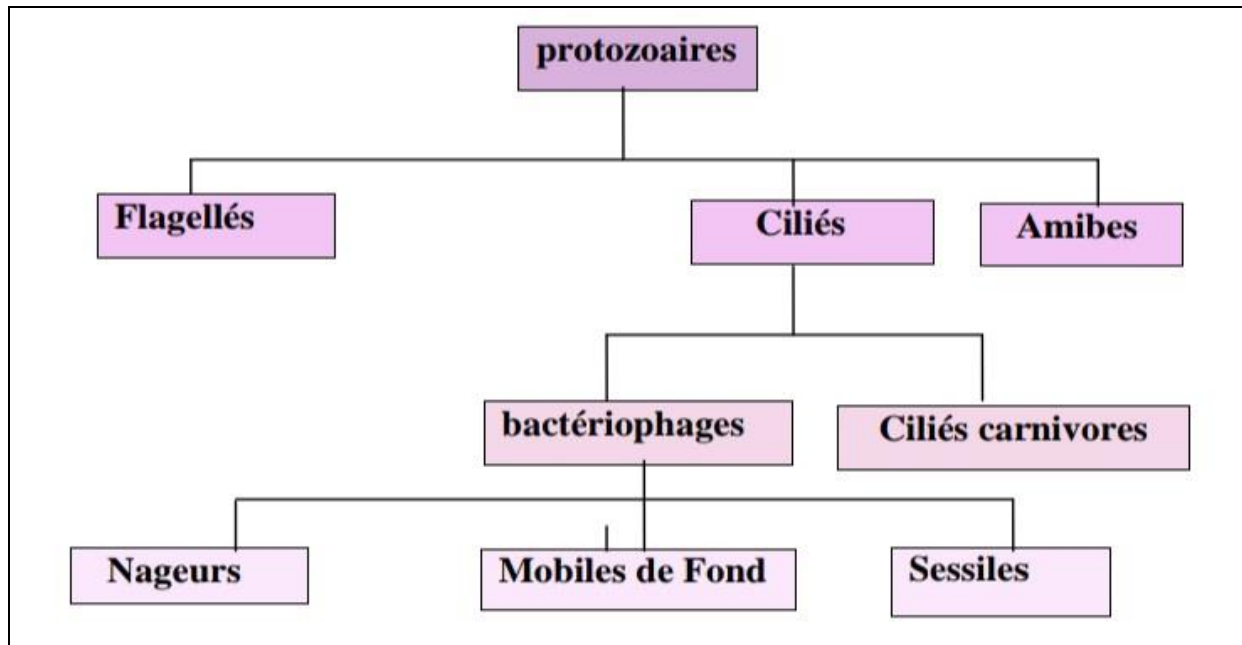


Figure 15 : Classification des protozoaires (Damotta, 2001).

2-1-1- Sous embranchement des flagellés

Leur identification est difficile compte leur taille inférieure à 20 μ m à l'exception des flagellés coloniaux et de quelques grandes espèces dont les *Euglénides*. Les principaux flagellés sont donc souvent identifiés à partir de leur forme, de leur taille, et de leur mode de déplacement (Canler et al., 2014).

- ***Mastigophorea* :**

Le développement des petits flagellés (<20 μ m) s'effectue généralement pendant la phase première de colonisation des boues activées par les protozoaires. Certains flagellés (figure 16) sont suffisamment résistants pour survivre à des conditions difficiles telles que des conditions anoxiques ou anaérobies prolongées ou même la présence de substances toxiques. Leur population augmente en cas de perturbation soudaine du système (baisse de température, augmentation de la charge, etc). Lorsqu'ils dominent, les performances de la station est faible, ce qui indique une charge très élevée est pour certain individus, un milieu mal aéré, produits fermentés, effluents septiques ou présence de dépôts. Des populations plus spécifiques fournissent des informations supplémentaires sur la nature des boues activées, la qualité de l'effluent à traiter et de l'eau de sortie (Canler et al., 2014).

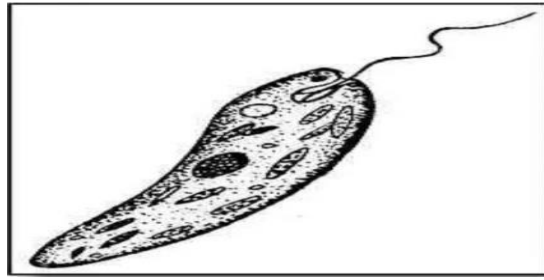


Figure 16 : Mastigoforea (Site 16).

2-1-2- Sous embranchement des sarcodines

Ce sous embranchement est divisé en deux classes :

- ✓ Les actinopodes, indicateurs de faible charge, rarement observés et avec très peu d'espèces susceptibles d'être présentes en boue activée.
- ✓ Les rhizopodes, assez bien représentés et dont la présence est plus souvent liée à la qualité des effluents plutôt qu'au domaine de charge ou au degré d'aération.

Dans la classe de rhizopodes, deux sous-classes très distinctes cohabitent : les amibes et les thécamébiens (**Canler et al., 2014**).

- **Les amibes**

Elles sont souvent observées pour un large champ de conditions, mais rarement vues en grand nombre dans des installations à faible charge et d'âge de boue élevé (figure 17). Leur présence dans cette situation est alors liée à une phase transitoire ou à un effluent particulier. Les grandes amibes sont bien corrélées à un traitement de bonne qualité (**Canler et al., 2014**).



Figure 17 : Les amibes (Hamaïdi et al., 2016)

- **Les thécamébiens**

Ce groupe comprend un ensemble hétérogène d'amibes à thèque ou à coquille (Rhizopodes testacés) vivant soit dans les eaux douces libres (figure 18), soit dans la pellicule d'eau qui recouvre les feuilles de mousses et sphaignes soit dans les particules du sol (**Dragesco, 1974**).

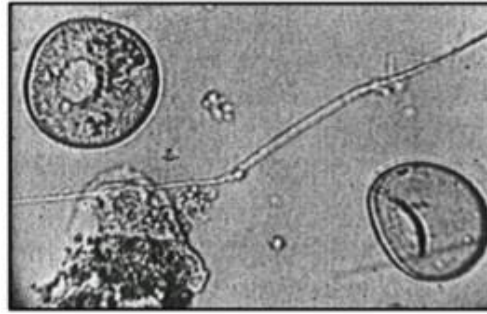


Figure 18 : Le thécamébiens (Damotta, 2001).

2-1-3- Sous embranchement des ciliés

Les ciliés protozoaires produisent des effluents traités clairs de bonne qualité grâce à leur capacité à se nourrir sur les bactéries et les particules en suspension et induire la floculation (**Ratsak et al., 1996**).

- **Les ciliés holotriches**

En grande quantité, ils sont souvent des indicateurs de situations transitoires, marquées par des périodes d'instabilité du système d'où des performances limitées (**Canler et al., 2014**).

Les holotriches de grande taille (supérieur à 50 μm) sont rencontrés lors d'une surcharge, (ex : *Litonotus*, *Colpidium*) entraînant un fort développement de bactéries libres dont ils se nourrissent. Les holotriches de petite taille (inférieur à 50 μm –ex : *Uronema*) sont souvent le signe de temps de séjour hydraulique relativement court ou d'une boue peu aérée (**Canler et al., 2014**).

La ciliature est uniforme et entoure le corps cellulaire (figure 19). Leur taille varie de 30 à 130 μm . Ils se déplacent rapidement, d'où le nom de ciliés nageurs (**Franck, 2002**).



Figure 19 : Les holotriches (Navarro, 2003).

- **Les ciliés péritriches**

Leurs cils sont répartis autour de l'entonnoir buccal (figure 20), ou leur mouvement de rotation permet de créer un flux de liquide vers l'intérieur de l'entonnoir. Ils sont généralement attachés au floc par une tige contractile (**Franck, 2002**). Ils se développent dans toutes les zones de charge. Ils sont plus fréquents dans des conditions de faible charge ou à la suite d'un apport important de matières organiques dans le cadre d'une aération prolongée. Cette plage de charge peut être modifiée par les pertes de boues ou la sur extraction (**Canler et al., 2014**).



Figure 20 : Les péritriches (vorticelle) (Canler et al., 2014).

- **Les ciliés spirotriches**

Leurs cils sont situés d'un seul côté du corps cellulaire. Elles se déplacent à la surface du floc en rampant le long de ces cils (ou cire) et en broutant les bactéries présentes à la surface du floc (forme rampante) (**Franck, 2002**).

Il existe deux ordres :

➤ **Les Hétérotriches**

Ils se rencontrent sur des installations en faible charge et l'âge de boue est élevé et sont indicateurs d'eau interstitielle de qualité voire de très bonne qualité (présence de nitrates presque obligatoire) (Canler et al., 2014).

➤ **Les Hypotriches**

Leurs cils sont regroupés en faisceaux ou cirres et servent de pattes de locomotion (Cavalla, 2014).

- **Les Suctoriens**

Ce sont des ciliés immobiles. Ils sont attachés par un pédoncule de taille variable, les ciliés bactériophages nageurs (*trachelophyllum*, *litontus*, *uranema*, *colpidium*...) sont abondants (Vedry et al., 1996).

Leur présence est assez rare et indique souvent une boue normale. D'une manière générale, leur développement est en étroite relation avec la qualité de l'eau rejetée mais on les retrouve également sur des installations allant de la moyenne charge à l'aération prolongée. Leur développement est relié à la densité en protozoaires du milieu (Canler et al., 2014).

2-2- Embranchement de métazoaires

Les métazoaires sont des micro-organismes hétérotrophes, aérobies et multicellulaires appartenant au règne animal. Ils sont plus grands et ont une structure plus complexe que les protozoaires, leur taille varient de 100 µm à 1 mm, si complexe que leur cycle de reproduction est très lent. Pour cette raison, ils ne peuvent être observés qu'en cas d'aération prolongée (Brook et Madigan, 1993 ; Damotta, 2001).

Les métazoaires sont strictement aérobies et sont plus sensibles aux conditions toxiques de leur environnement (Granier, 2005).

Les principaux métazoaires rencontrés en boue activée et classés par ordre de fréquence décroissant (Canler et al., 2014) sont les suivant :

2-2-1- Sous embranchement des rotifères

Ces métazoaires sont segmentés et très déformables, avec un pied plus long que le reste du corps lorsqu'il est déployé. Sa longueur déployée est d'environ 100 à 500 µm (Franck, 2002).

Les rotifères sont dotés d'un appareil rotatoire qui filtre l'eau qui circule (figure 21). Ils peuvent être libres ou sur la surface des flocs (**Damotta, 2001**). Les rotifères ne se trouvent que dans les systèmes à boues activées très stables (**Garnier, 2005**).



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

2-2-2- Sous embranchement des nématodes

Il s'agit de métazoaires non segmentés, au corps glabre et à la forme vermineuse caractéristique et sont flexibles (figure 22). Leur longueur est généralement supérieure à 150 μm . (**Franck, 2002**). Leur corps est lisse et ne présente pas de cils. Animal très souple et relativement mobile. La présence de nématodes témoigne d'une boue trop âgée (**Canler et al., 2014**).



Figure 22 : Le nématode (**Hamaidi et al., 2016**).

2-2-3- Sous embranchement des gastrotriches

Les gastrotriches sont des métazoaires cylindriques d'une taille comprise entre 100 à 300 μm avec une partie terminale dichotomique (figure 23). On ne les trouve que dans les boues à très faible teneur en oxygène. Mais ils restent rares dans les boues activées (**Damotta, 2001**).



Figure 23 : Le gastrotriche (Cavalla, 2014).

2-2-4- Sous Embranchement des oligochètes

L'oligochète est un ver allongé dont les soies dorsales peuvent mesurer de 0,5 à 4 mm (figure 24). Les gastrotriches sont très rares dans les boues activées, n'apparaissant qu'à de très faibles charges et indiquant la présence de nitates (Damotta, 2001).

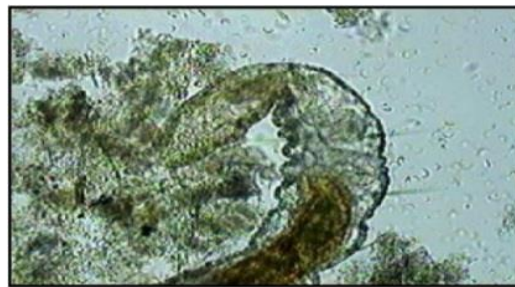


Figure 24 : Les oligochètes (Cavalla, 2014).

2-2-5- Sous embranchement des tardigrades et des acariens

Les tardigrades et les acariens sont extrêmement rares dans les boues activées. Ils sont observés sur des installations de faible charge, avec âges de boue très élevés (>> 25-30 jours) en voie de stabilisation, avec une qualité des eaux rejetées très faible en DBO5 et en N-NH_4^+ (nitrification très importante) (Canler et al., 2014).

3- Principales fonctions de la microfaune

Il convient de rappeler les principales fonctions de la microfaune afin de faciliter son interprétation.

3-1- Locomotion

Ils ont tous la possibilité, à un moment donné de leur vie, de se déplacer avec des vitesses très différentes (Canler et al., 2014).

3-2- Respiration

En très grande majorité, les protozoaires ont des besoins en oxygène dissous à très faible concentration. Certaines espèces possèdent des capacités d'adaptation à des conditions de milieu plus difficiles ou peuvent même être anaérobies strictes (**Canler et al., 2014**).

3-3- Nutrition

En très grande majorité des individus est hétérotrophe, la microfaune possède des formes de nutrition très diverses. Ils peuvent être autotrophes (quelques espèces) ou hétérotrophes. Certaines populations dites mixotrophes sont capables d'avoir plusieurs modes d'alimentation (**Canler et al., 2014**).

Partie

Expérimentale

*Présentation de la
station d'épuration de
Ferdjioua Ain Beida
Ahreiche*

Introduction

La station d'épuration de Ferdjioua est à l'extrémité d'un réseau de collecte principal, juste en amont de la sortie des eaux vers le milieu naturel. Comme toutes les STEP, elle rassemble une succession de dispositifs, empruntés tour à tour par les eaux usées. Chaque dispositif est conçu pour extraire au fur et à mesure les différents polluants contenus dans les eaux usées. Le but principal de la STEP est de traiter les eaux usées provenant de la commune d'Ain Beida et de celle de Ferdjioua puis rejeter dans l'oued de Bousslah et qui seront entraînées par la suite vers le barrage de Béni Haroun **(STEP de Ferdjioua)**.

1-Localisation géographique de la STEP

La STEP de Ain Beida Ahrieche, Ferdjioua, est récemment mise en marche (figure 25). Elle a été mise en service précisément le 17 juin 2017. Elle est située au nord-est de la commune de Ain Beida dans la wilaya de Mila (figure 26). Le système de traitement retenu pour l'épuration des eaux usées de la région est la boue activée avec l'aération prolongée. Elle est dimensionnée pour une très faible charge avec traitement de boues par déshydratation mécanique et de lits de séchage de secours. La station est conçue pour traiter les déchets de 80000 habitants dans chacune des municipalités de Ain Beida et Ferdjioua, ce qui renforce le secteur des ressources en eau et garantie une protection efficace du barrage de Béni Haroun contre les risques de pollution et la possibilité d'investissements agricoles. La région d'étude (Ain-Beida, Ferdjioua) est généralement dominée par les activités agricoles ce qui donne des perspectives sur la nature de l'eau à traiter évacuée vers la station **(STEP de Ferdjioua)**.



Figure 25 : La STEP de Ain Beida Ahreiche Ferdjioua (STEP de Ferdjioua).



Figure 26 : Localisation géographique de la STEP Ain Beida Ahreiche Ferdjioua
(Google map).

2- Les données techniques de la STEP

Le tableau ci-dessous montre les données technique de la STEP .

Tableau 10 : Données techniques de la STEP de Ferdjioua Ain Beida Ahrieche (**STEP de Ferdjioua**).

Wilaya	Mila
Zone	Constantine
Unité	Mila
Nome (STEP et lagune)	STEP Ferdjioua Ain Beida Ahrieche
Localisation	Ain Beida
Date de mise en service	17-06-2017
Entreprise de realisation	Groupement CGC/OVIVO
Procédé d'épuration	Boue active
Capacité actuelle et à l'horizon en E/H	80000 E/H actuelle et 120000 à l'horizon 2030
Volume nominal actuelle et à l'horizon en m ³ /j	9600 m ³ /j actuelle et 14400 à l'horizon 2030
Volume réel entrant à la STEP ou lagune en m ³ /j	4000 m ³ /j (la moyenne)
Taux ce collecte (raccordé à la STEP ou lagune) %	50%
Volume annuel traité en m ³	1540000 m ³

Rendement de la STEP	45%
Milieu récepteur des eaux sortant de la STEP (oued, mer, chaaba, milieu naturel...)	Oued bousalah
Etat de la STEP (en marche, à l'arrêt...)	En marche

3- Les étapes de traitement de la STEP

3-1- Station de relevage

Les eaux usées brutes arrivent à la station gravitairement dans une conduite de diamètre de 1000mm. Un poste de relèvement est aménagé en tête de la station pour le relèvement des eaux brutes de la ville pour les injecter dans le circuit de traitement (**STEP de Ferdjioua**).

En première phase, la station est équipée par quatre (4) pompes submersibles de débit unitaire 335 m³/h (3 pompes en service et une de secours). Elle est munie d'un système complet pour la manutention des groupes électropompes. Le génie civil de la station de relevage est déjà conçu pour l'extension future (deuxième phase).

3-2- Prétraitement

Il concerne les effluents hétérogènes comprenant les composés solides (colloïdaux ou dispersés, particules solides) ou des liquides ou non miscibles. Les méthodes utilisées sont mécaniques et physiques (**Grègorio et al., 2007**).

3-2-1- Dégrillage

L'eau entrant dans la station d'épuration est tamisée en la faisant passer au travers d'une grille métallique où toutes les particules de quelques millimètres sont stoppées. Il ne reste alors que les MES, qui sont soit du sable qui décante facilement, soit des matières colloïdales fines (**Brigitte, 2008**). Dans la STEP, il existe deux types de dégrillage :

3-2-1-1- Dégrillage grossier

Un dégrillage grossier est placé avant la station de relevage pour protéger la station de pompage (figure 27). La vitesse à travers la grille doit être comprise entre 0,6 et 1,2 m³/s (**STEP de Ferdjioua**).



a/ Manuel



b/ Automatique

Figure 27 : Le dégrilleur grossier (STEP de Ferdjioua).

3-2-1-2- Dégrillage fin mécanisé

Le canal de dégrillage fin se compose de trois grilles en inox : deux mécanisées et une manuelle en by-pass (figure 28). Le dimensionnement de cet ouvrage est basé sur les mêmes formules que celles utilisées pour le dégrillage grossier **(STEP de Ferdjioua)**.



a/ Manuel



b/ Automatique

Figure 28 : Le dégrilleur fin mécanisé (STEP de Ferdjioua).

3-2-2- Dessablage-déshuilage

Le dessablage-déshuilage est une opération de séparation solide-liquide. Les huiles et les graisses étant moins denses que l'eau ont une tendance naturelle à remonter en surface (figure 29). Les sables décantés seront extraites par un système d'aire lift et seront acheminés vers les classificateurs à sable **(STEP de Ferdjioua)**.



Figure 29 : Le déshuileur (STEP de Ferdjioua).

3-3- Traitement biologique

La station d'épuration est pourvue de trois bassins de traitement biologique (Figure 30) (bassin d'anaérobiose, bassin d'anoxie et le bassin d'aération) :



Figure 30 : Les trois bassins de traitement biologique (STEP de Ferdjioua).

3-3-1- Bassin d'anaérobiose

C'est la première étape du traitement biologique. Elle permet d'éliminer 70 à 80 % de la pollution organique carbonée. Elle vise à une déphosphatation biologique dont la masse du phosphore éliminée est 76,6 kg/j. La longueur de ce compartiment est de 22m avec une largeur de 8,85m et une hauteur d'eau de 5,38m (STEP de Ferdjioua).

3-3-2- Bassin d'anoxie

Il dénitrifie les nitrates formés dans le bassin d'aération et les renvoie par recirculation interne. L'objectif est de maintenir un temps de passage moyen entre une et deux heures pour obtenir des conditions d'anoxie sans risque de déficit en oxygène trop long. La longueur de cet ouvrage est de 22,3m avec une largeur de 12,23m où le volume atteint est 1400m³ (STEP de Ferdjioua).

3-3-3- Bassin d'aération

Le bassin d'aération est le réacteur biologique dans lequel la matière organique est transformée par des micro-organismes aérobies. Il s'agit d'un élément fondamental du processus des boues activées avec une charge de DBO5 de 38450 kg/j. Ce bassin a une longueur de 43m avec une largeur de 22,3m et un volume atteignent 4880m³. Une bonne gestion de l'aération permet également d'assurer les réactions de nitrification et dénitrification **(STEP de Ferdjioua)**.

3-3-4- Ouvrage de dégazage

L'air est introduit dans une conduite de transfert en siphon (entre bassin d'aération et clarificateur) sous forme de fines bulles qui provoquent un phénomène de flottaison plus ou moins important pouvant être à l'origine d'un dysfonctionnement du traitement (Figure 31). Afin d'éviter toutes remontées indésirables de boues dans le clarificateur, ce qui engendrerait inévitablement une mauvaise décantation des boues, un ouvrage de dégazage est placé entre le bassin d'aération et le clarificateur en permettant de désaérer l'effluent après le réacteur biologique **(STEP de Ferdjioua)**.



Figure 31 : L'ouvrage de dégazage (STEP de Ferdjioua).

3-4- Clarificateur

Le clarificateur st un ouvrage placé à la sortie du bassin d'aération (Figure 32). Il présente trois fonctions : une première fonction consistant en la séparation de la boue et de l'eau épurée, une seconde d'épaississement en permettant par la suite une recirculation de boues concentrées vers la zone anoxie et enfin un stockage temporaire des boues. De façon générale, le système fonctionne tel que le flux ascendant d'eau clarifiée ne perturbe pas le flux descendant de boue **(STEP de Ferdjioua)**.



Figure 32 : Le clarificateur (STEP de Ferdjioua).

3-5- Traitement des boues

3-5-1- Station de pompage des boues biologiques en excès

La capacité de la station de pompage des boues en excès est déterminée sur la base de la production des boues en excès (biologique et physico-chimiques) et la concentration en MES (STEP de Ferdjioua). Il existe :

3-5-2- Epaississement

Il consiste à séparer gravitationnellement l'eau des particules de boues par flottation ou par décantation (Monod, 1989).

3-5-3- Déshydratation

La déshydratation a pour objectif de faire passer la boue de l'état liquide à une consistance plus ou moins solide qui doit, évidemment, répondre aux exigences de la destination finale choisie (Koller, 2009).

3-5-3-1- Déshydratation mécanique

Le traitement final des boues par déshydratation mécanique permet d'éliminer un maximum d'eau (figure 33). Les boues contiennent encore jusqu'à 85% d'eau. Il est donc impératif d'optimiser cette étape afin d'assurer la plus grande élimination possible d'eau (Amorce, 2012).



Figure 33 : La déshydratation mécanique (STEP de Ferdjioua).

3-5-3-2- Lit de séchage

La déshydratation des boues sur lits de séchage est la plus ancienne technique de séchage des boues. Son principe est le suivant : la filtration naturelle par gravité et un séchage à l'air de la boue. Les lits de séchage (Figure 34) on des avantages certains : simplicité de construction et d'opération. C'est un système bon marché surtout quand le coût du terrain est très bas (**STEP de Ferdjioua**).



Figure 34 : Lit de séchage (STEP de Ferdjioua).

4- Laboratoire

Les figures (35 à 55) montrent les appareils utilisés au laboratoire de la STEP :

4-1-Le matériel du laboratoire



Figure 35 : bloc chauffant. **Figure 36 :** spectrophotomètre **Figure 37 :** La balance.

Visible.



Figure 38 : four à moufle. **Figure 39 :** étuve. **Figure 40 :** centrifugeuse.



Figure 41 : distillateur. **Figure 42 :** Etuve thermostat. **Figure 43 :** microscope.



Figure 44 : Conservateur des
Produits chimiques



Figure 45 : les verreries de
laboratoire

4-2-Les appareils utilisés pour la mesure des paramètres physiques



Figure 46 : pH mètre.



Figure 47 : conductimètre.



Figure 48 : oxymètre

4-3-Les appareils utilisés pour la mesure des paramètres chimiques :

4-3-1- Analyses de la DBO₅ :



Figure 49: Oxitop DBO₅.



Figure 50 : Etuve thermostable.

4-3-2- Analyse de la DCO



Figure 51 : tritrateur digitale



Figure 52 : sorbonne

4-3-3- Analyse des matières en suspension



Figure 53 : Dessiccateur.

4-3-4- Analyse des huiles et des graisses



Figure 54 : Evaporateur par Vibration.



Figure 55 : Evaporation rotatif.

Matériel

et Méthodes

Introduction

Le but de ce travail est de déterminer la composition de la microfaune vivant dans la boue activée de la STEP de Ferdjioua, Ain Beida Ahariche, en identifiant les espèces de protozoaires et métazoaires durant une période de deux mois (Avril et Mai). L'appréciation des paramètres physico-chimiques et l'observation microscopique ont été réalisés au laboratoire de la STEP.

1-Prélèvement

Les prélèvements des échantillons de la boue activée, en vue d'une analyse microbiologique, ont été fait dans des flacons en verre borosilicatés de 500 ml stérilisés selon un mode de prélèvement précis afin d'éviter toute contamination accidentelle (**Rodier, 2009**).

Le prélèvement a été réalisé dans le bassin d'aération (après 10 à 15 min d'agitation du bassin) à l'aide d'une pêche et à une profondeur de 0,5 à 1m.



Figure 56 : prélèvement des boues activée dans la STEP.

2- Observation macroscopique et microscopique des boues activée

2-1- Observation macroscopique des boues activée

L'observation macroscopique a été effectuée, avant d'aborder la description de la population des protozoaires et des métazoaires au sein de la boue activée, dans une fiche préparée qui contient toutes les informations de l'échantillon avant et après la décantation : couleur (claire, boue type, foncée, noire), odeur, la quantité de boue, la présence de flottants, la qualité du surnageant, le comportement des floccs lors de la décantation.

2-2-Observation microscopiques des boues

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 :

-1^{ère} étape : observation à l'état frais

- 2^{ème} étape : observation après coloration

L'observation microscopique a été réalisée à l'aide d'un microscope optique (optika) en utilisant deux grossissements (100X et 400X).

2-2-1- Observation à l'état frais

Une goutte de boue est prélevée 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 conseillé d'observer au moins deux lames et de procéder toujours de la même manière pour la lecture d'une lame : commencer en haut à gauche puis arrivé à l'extrémité droite, descendre et lire de droite à gauche et ainsi de suite jusqu'à arriver en bas de la lame, afin de balayer toute sa surface (**Rejsek, 2002**).

Le grossissement global tient compte de celui des oculaires et de celui de l'objectif : le grossissement des oculaires étant en général de 10X, lorsque l'on utilise l'objectif 10X, le grossissement obtenu est donc de 100 (10x10). La mise au point se fait à l'objectif 10X, il est utile pour caractériser les floes (structure, forme, taille), le liquide interstitiel (présence de bactéries libres, de bactéries filamenteuses, de spirochètes, de débris divers) et la microfaune (espèces présentes, quantité, état physiologique). L'objectif 4X0 est utile pour identifier plus précisément les espèces présentes (**Rejsek, 2002**).

2-2-2- Observation microscopique après coloration

2-2-2-1-Coloration avec Lugol

Le lugol est à la fois un fixateur et un colorant. Il colore les inclusions cytoplasmiques et le noyau en brun, les réserves amylacées en bleu et l'hyaloplasme en jaune (**Cavalla, 2014**)

2-2-2-2- Coloration avec le vert de méthyle

Le vert de méthyle fait partie d'une famille de colorant létal. Il fixe et tue les microorganismes. Le vert de méthyle colore le ou les noyaux des protozoaires (**Crabbé et Lecomte, 2014**).

2-2-2-3- Coloration avec le rouge neutre

La coloration au rouge neutre dilué est dite vitale puisqu'elle ne tue pas les microorganismes. Ceci permet de mettre en évidence les vacuoles digestives et les inclusions cytoplasmiques de certains microorganismes (**Cavalla, 2014**).

2-2-2-4- Bleu de méthylène (chlorure de méthylthioninium)

Est un composé organique, solide cristallisé inodore soluble dans l'eau et, dans une moindre mesure, dans l'éthanol. À l'état pur, il se présente sous la forme d'une poudre vert foncé, on le trouve commercialement également sous forme d'un sel double avec le chlorure de zinc, de couleur brune (**Pandolfi, 2006**).

2-2-2-5- Encre de Chine

Le noir de carbone, principal composant de l'encre de chine, peut pénétrer dans les floccs si leur composition en EPS (exopolysaccharides) n'est pas trop élevée. En revanche, les boues contenant de fortes concentrations de composés extracellulaires bloquent l'entrée des particules de carbone, ce qui donne des zones non colorées. (**Canler, 2005**)

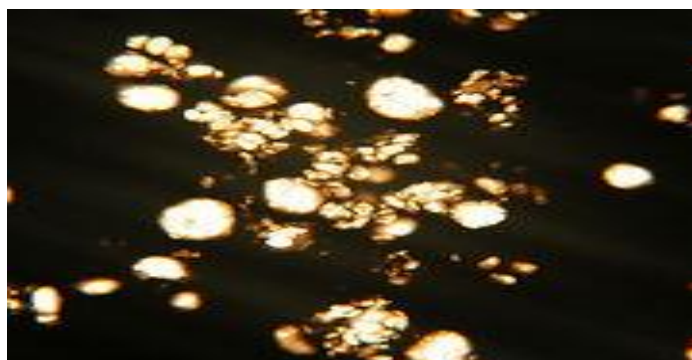


Figure 57 : Observation microscopique avec l'encre de chine (Site 17).

3- L'identification des protozoaires et métazoaires

L'identification de la microfaune a été faite à l'aide des clés d'identification de **Canler et al., 2014**.

Tableau 11 : Clé d'identification de la microfaune (**Canler et al., 2014**).

	Classe	Sous-classe	Formes
Clé A Protozoaires	Clé B Flagelles	–	Vie solitaire Vie en colonie
		–	Pseudopodes très fins Pseudopodes visibles
	Clé D Cilies	Clé E Holotrches	Ciliature uniforme sur la surface du corps
		Clé F Pérित्रiches	Corps fixé par un pédoncule, présence d'une couronne de cils
		Clé G Spirotriches	Ciliature hétérogène et présence de cirrhes
		Clé H Suctoriens	Corps fixé par un pédoncule et présence de tentacules
Clé I Métazoaires	Clé J	<i>Rotifère</i>	Silhouette caractéristique animale mobile ou fixé contractile ou rigide
		<i>Gastrotriches</i>	Présence de longs cils, partie postérieure munie de deux éperons
		<i>Nématodes</i>	Ver lisse
		<i>Tardigrades</i>	Quatre paires de pattes munies de griffes
		<i>Annélides oligochètes</i>	Vers possédant des touffes de poils rigides

Les photographies étaient prises par appareil photo numérique optika adopté au microscope et le traitement de photo était fait par ordinateur.

4-Comptage de la microfaune

4- 1-Description du matériel

Le comptage des espèces de protozoaires et de métazoaires a été effectuée avec une cellule de numération. C'est une épaisse lame de verre, creusée de rigoles qui délimitent des plates-formes : deux plates-formes latérales élevées qui supporteront une lamelle épaisse et plane et une plate-forme centrale légèrement abaissée, sur laquelle est gravé un quadrillage (ou deux quadrillages).

4-2-La cellule de Thoma

La cellule d'énumération utilisée dans notre étude est la cellule de Thoma (figure 58) . Son quadrillage est composé d'une forme carrée comprenant 16 grands carrés séparés par des triples bandes. La profondeur est de 0,1 mm Le volume total est de $0,1 \text{ mm}^3$. Chaque grand carré est subdivisé en 16 petite carrés on 4 groupes de 3 lignes verticales et 4 groupes de 3 lignes horizontales. Le quadrillage de la cellule de Thoma comprend 400 petits carrés (figure 59).

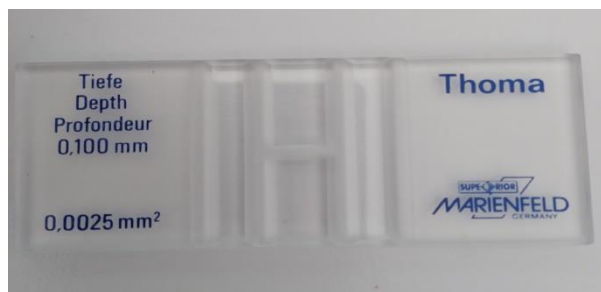


Figure 58 : La cellule de Thoma.

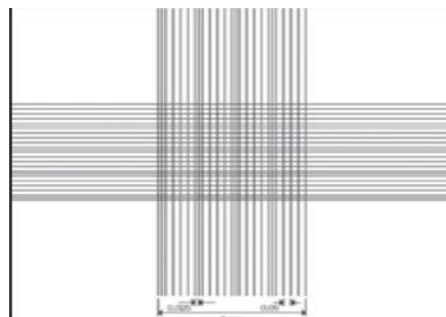


Figure 59 : quadrillage de la cellule thoma

5- Méthode de comptage

Vérifier que la cellule et la lame sont parfaitement propres et placer la lame sur un plan parfaitement horizontal. Une lamelle couvre objet est mise sur les plaques de la lame en laissant une surface pour le dépôt de l'échantillon (**Guezlane et al., 2010**).

Une pipette pasteur est utilisée pour prélever un certain volume de boue. L'extrémité de la pipette est amenée jusqu'au bord de la lamelle et l'espace entre la chambre et lamelle est réduit sans que le volume de boue ne déborde (**Guezlane et al., 2010**). Le liquide doit recouvrir toute la surface quadrillée de la cellule.

Une observation avec un objectif X10 est effectuée pour identifier la grille et vérifier que les cellules à compter sont uniformément réparties de façon homogène, puis le comptage est effectué avec l'objectif X40 (**Cuziat, 2011**).

Enfin, nous avons compté le nombre des protozoaires et des métazoaires situées dans les rectangles des deux diagonales. Le comptage nécessite l'observation de six diapositives. (**Guezlane et al., 2010**).

Résultats et discussion

1- Les paramètres physico-chimiques

Le tableau suivant récapitule les résultats des paramètres physico-chimiques des mois d’Avril et Mai dans la STEP de Ferdjioua.

Tableau 12 : Résultats de la mesure des paramètres physico-chimiques.

Les paramètre physicochimique	06 Avril		23 Avril		06 Mai		Les normes
	L'entrée	Sortie	L'entrée	Sortie	L'entrée	Sortie	
DBO5 (mg/l)	480	8	440	15	480	12	< 20
DCO (mg/l)	/	/	974	73,9	836	81,6	< 90
NT (mg/l)	/	/	43	9,8	129	15,4	< 10
O2 dissout (mg/l)	7,76		8,8		6,58		< 8
T (°C)	9,8		11,3		15,9		22 – 32
pH	7,71		7,77		8,14		5,5- 8,5
La charge (EH)	80000 – 120000						

2- Aspect macroscopique de la boue activée

- **La couleur :** maron foncé et gris après la décantation.
- **L’odeur :** ça sent la terre mouillée.
- **La fomation du surnageant et le culot.** (figure 60)

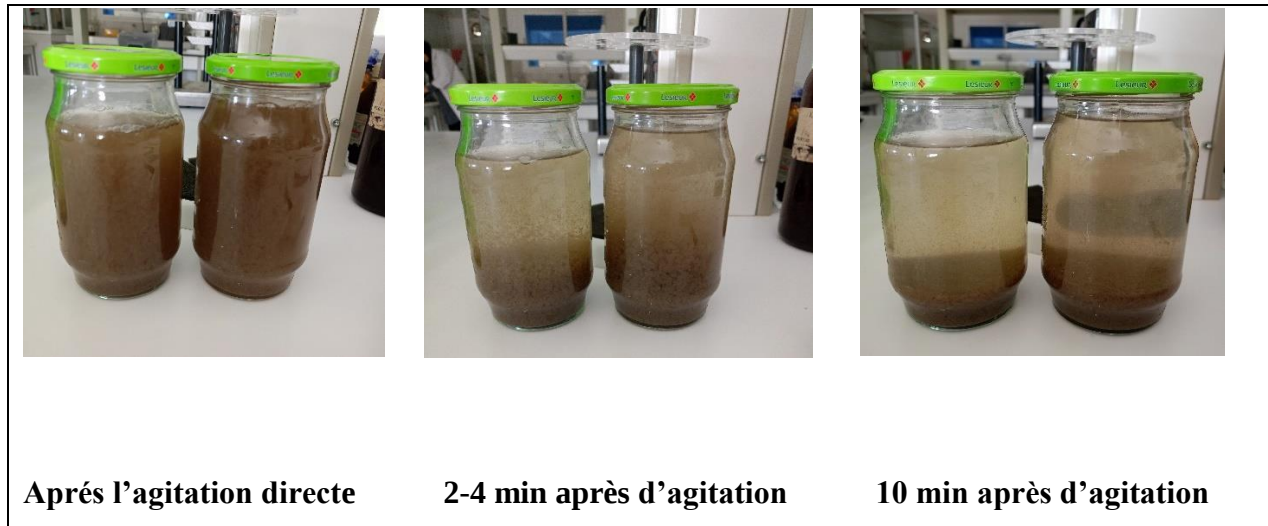


Figure 60: Aspect macroscopique de la boue activée.

3- Résultats de l'observation microscopique de la boue activée

Les bactéries sont présentes aux différents types de croissances, Croissance libre (dispersée), Croissance floculée et croissance filamenteuse (Figure 61).

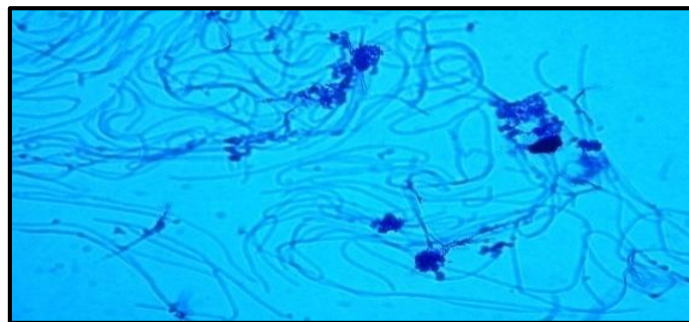


Figure 61 :observation microscopique montrant la présence des bacteries filamenteuses.

La microfaune observée est constituée de protozoaires et de métazoaires avec la dominance de protozoaires. 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.

Les figures **62-67** montrent l'observation microscopique de la boue activée à l'état frais et après coloration.



Figure 62 : Observation microscopique à après l'état frais (400X)

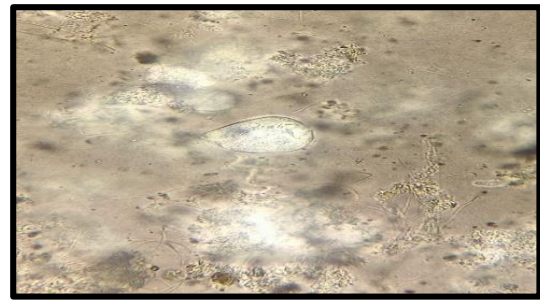


Figure 63 : Observation microscopique coloration à l'encre de chine (400X)

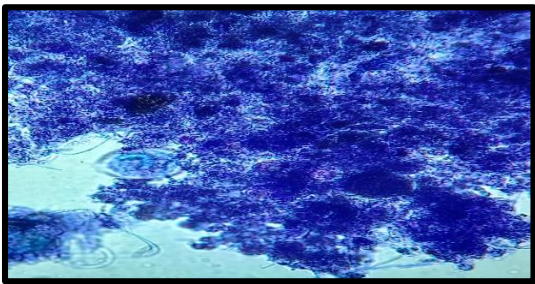


Figure 64: observation microscopique après coloration au bleu de méthyle (400X)

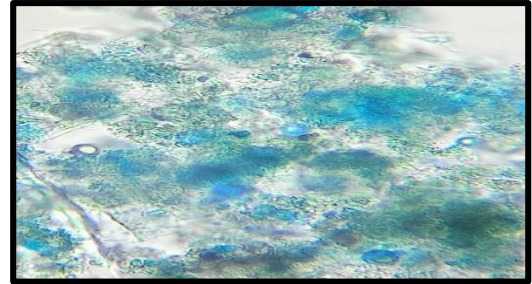


Figure 65: observation microscopique après coloration au vert de methyle (400X)



Figure 66: observation microscopique après coloration au rouge neutre (400X).

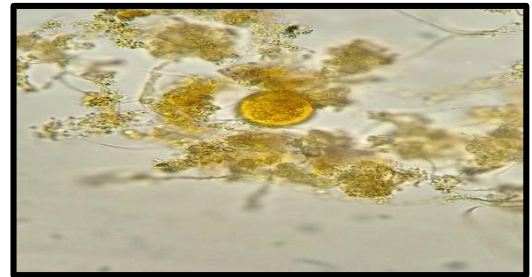


Figure 67: observation microscopique après coloration à l'iode iodure (400X).

4- Identification

L'observation microscopique des boues activées est un outil précieux pour comprendre le fonctionnement et pour fonder une bonne exploitation des stations d'épuration. Elle complète notamment d'autre observation et mesure : la taille et l'aspect du floc et les microorganismes filamenteux.

Elle permet d'identifier les protozoaires, les métazoaires et les bactéries filamenteuses, alors que leur observation au microscope optique peut donner des indications sur le niveau de traitement selon **Canler et al, 2004**.

4-1- Les protozoaires

4-1-1- Les flagellés

Les figures 68 jusqu'à 81 montrent les principaux flagellés trouvés dans la boue activée de la STEP de Ferdjioua.



Figure 68: *Peranema* sp. (400X)

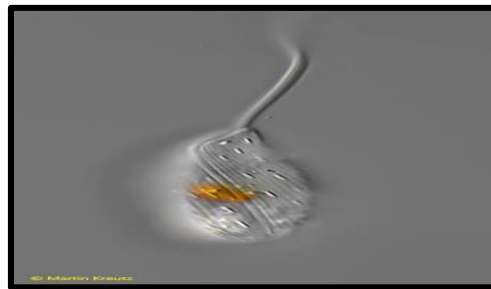


Figure 69: *Peranema* sp. (Site 18)

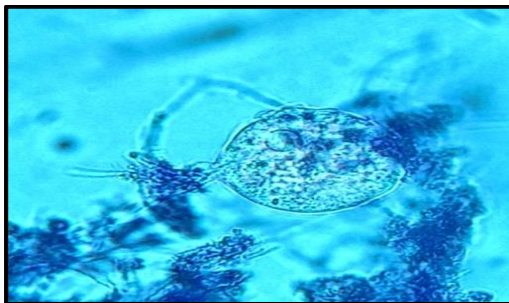


Figure 70 : *Polytomella* sp. (400X)

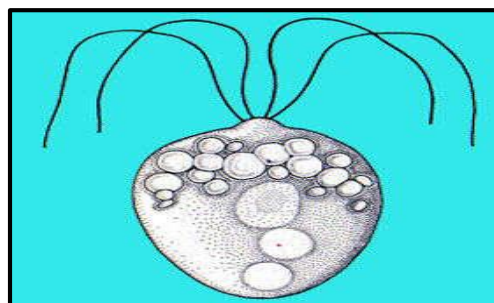


Figure 71 : *Polytomella* sp. (Site 19)



Figure 72 : *Monas globosa* (400X)

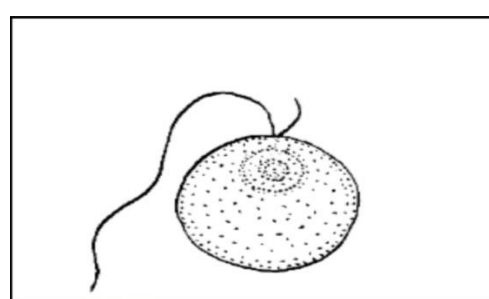


Figure 73 : *Monas globosa* (canler et
al., 2014)

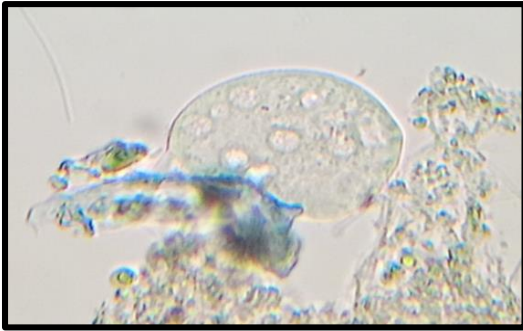


Figure 74: *Oicononas associalis* (400X)

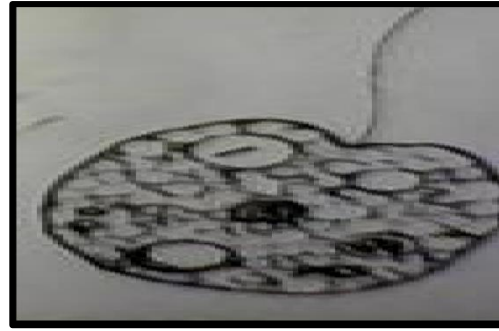


Figure 75: *Oicononas associalis* (canler et al., 2014).

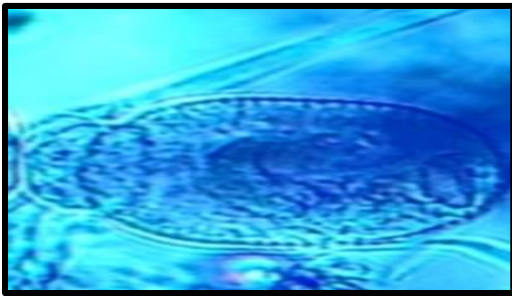


Figure 76 : *Trachelomonas euchlora* (400X)

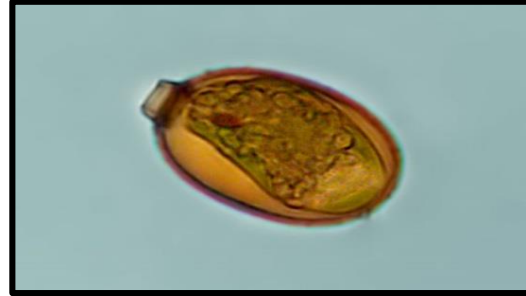


Figure 77 : *Trachelomonas euchlora* (Site20)

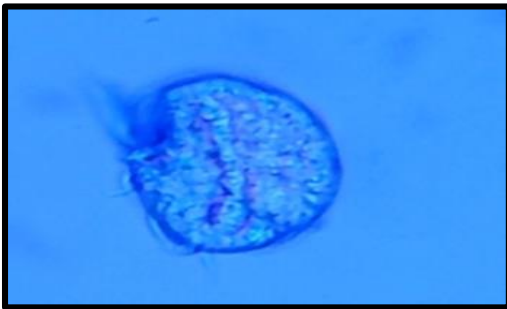


Figure 78 : *Halteria* sp. (400X)



Figure 79 : *Halteria* sp. (Site 21)



Figure 80 : *Eudorina* sp. (400X)

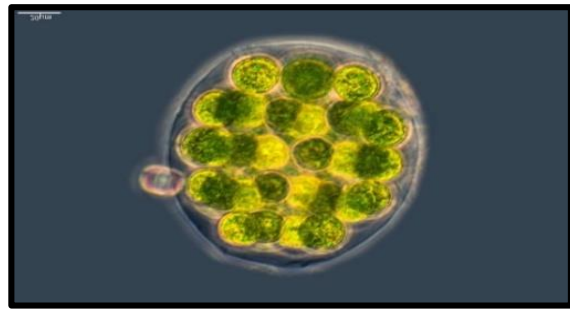


Figure 81 : *Eudorina* sp. (Site 22)

Les flagellés ayant une longueur inférieure à 20µm, tel que *Monas globosa*, sont associés à une charge faible et un rendement correct alors que les flagellés ayant une longueur supérieure à 20µm, comme *Peranema*, se rencontrent en faible charge et pour des effluents peu concentrés (Canler et al., 2014).

La présence des flagellés coloniaux, comme *Eudorina*, correspond à une charge massique élevée et une oxygénation insuffisante voire limitée (Canler et al., 2014).

4-1-2- Les sarcodines

Les figures 82 jusqu'à 103 montrent les sarcodines trouvés dans la boue activée de la STEP de Ferdjioua :



Figure 82 : Grande Amibe (400X)



Figure 83 : Grande Amibe (canler et al., 2014)



Figure 84: *Monogononta colurella* (400X)

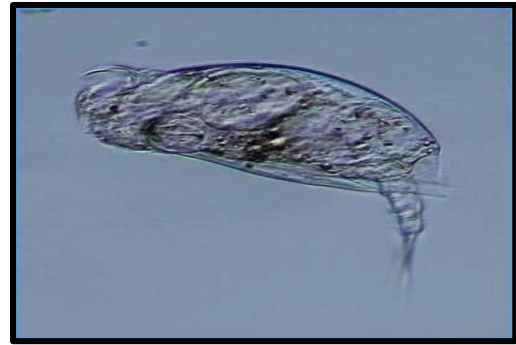


Figure 85: *Monogonont acolurella*
(Site23)

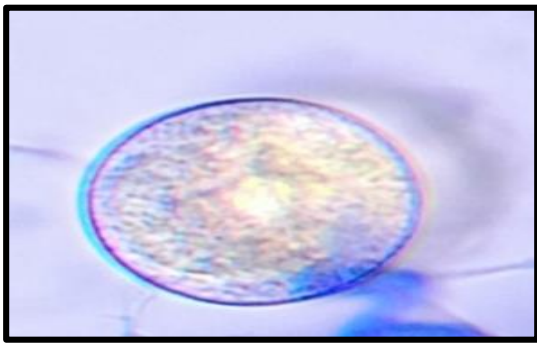


Figure 86: *Arcella sp.*(400X)

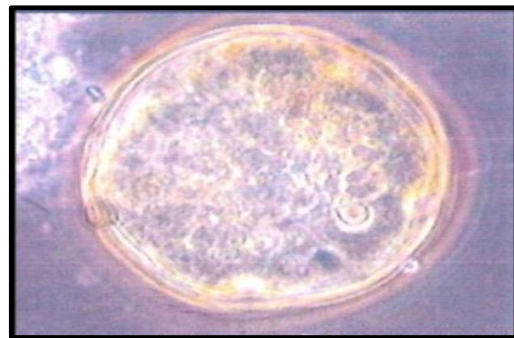


Figure 87: *Arcella sp.* (Vedry, 1996)

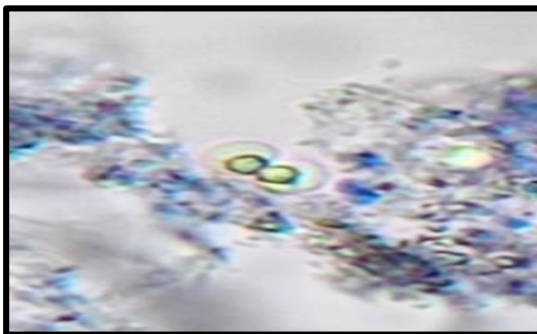


Figure 88 : *Diffugia globulosa* (400X)

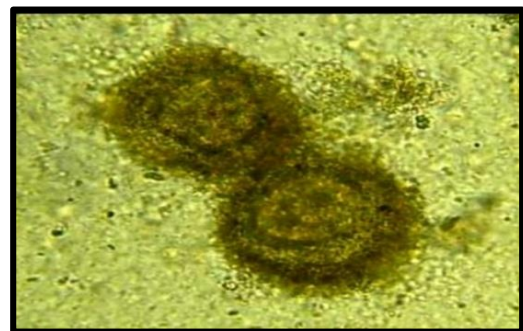


Figure 89 : *Diffugia globulosa*
(Chergui et al., 2016).

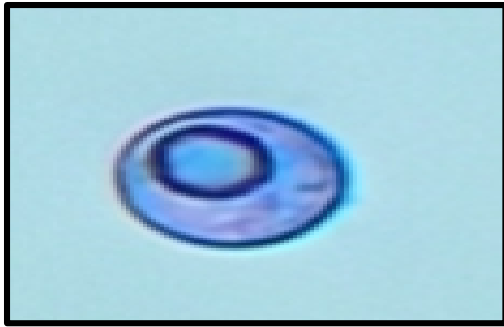


Figure 90 : *Diffflugia* sp. (400X).

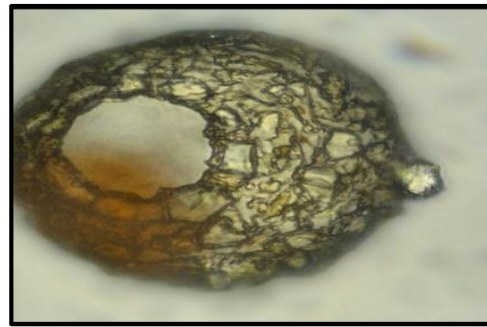


Figure 91 : *Diffflugia* sp. (Site 24).

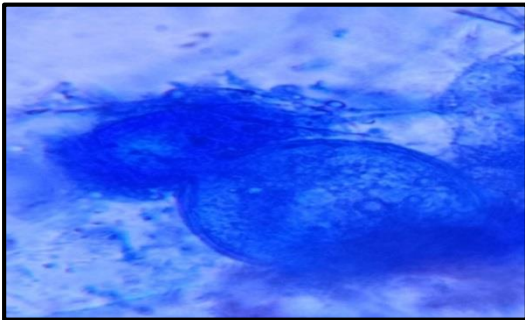


Figure 92 : *Arcella vulgaris* (400X).



Figure 93 : *Arcella vulgaris* (canler et al., 2014).



Figure 94: *Mayroella cultura* (400X)



Figure 95: *Mayroella cultura* (Site 25).

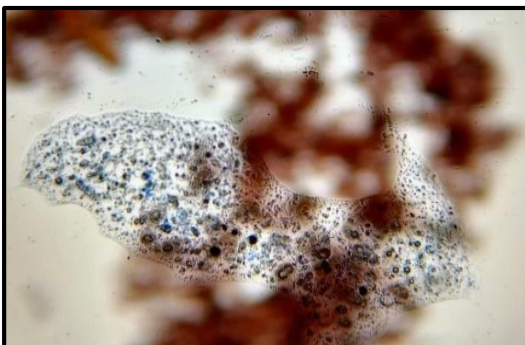


Figure 96 : *Amoeba proteus* (400X).



Figure 97 : *Amoeba proteus* (Site 26).



Figure 98: Amibe à plusieurs pseudopodes (400X).



Figure 99: Amibe à plusieurs pseudopodes (Site 27).



Figure 100 : *Euglipha cristata* (400X)



Figure 101 : *Euglipha cristata* (Site 28).

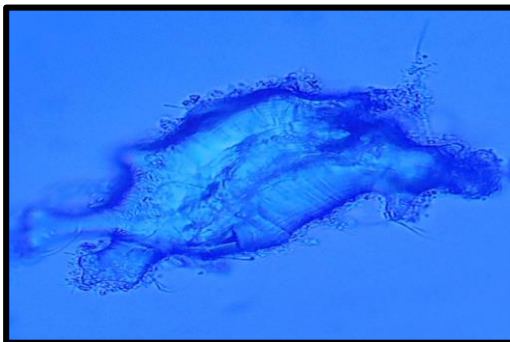


Figure 102: *Rhizopoda (Amoebae)*(400X).



Figure 103: *Rhizopoda (Amoebae)* (Site 29).

Les espèces présentes dans la boue activée de la STEP de Ferdiousa sont :

Arcella qui indique une bonne performance en nitrification d'où un bon degré d'aération et dans le domaine de faible charge. *Diffugia*, sa présence est liée à l'existence de micro-grains de sable dans le milieu et une minéralisation assez poussée des boues.

Euglypha indique l'amélioration de la qualité des eaux. Les *Amibes* sont souvent corrélées à une bonne oxygénation et presque toujours à un bon traitement du carbone (Canler et al., 2014).

4-1-3- Les Ciliées

Les figures 104 jusqu'à 145 montrent les ciliées trouvées dans la boue activée de la STEP de Ferdjioua :

- Les ciliés Holotriches sont montrés dans les figures suivants :

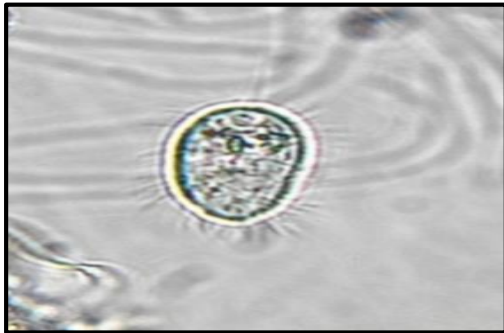


Figure 104 : *Uronema* sp. (400X).

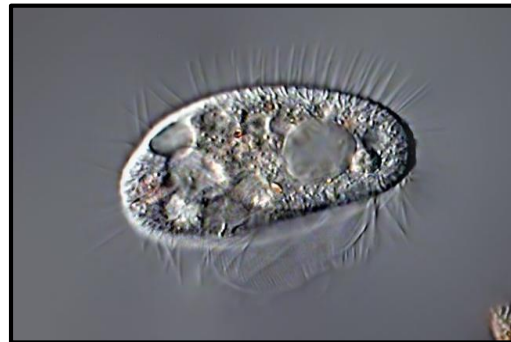


Figure 105 : *Uronema* sp. (Site 30).



Figure 106 : *Uronema nigricans* (400X).

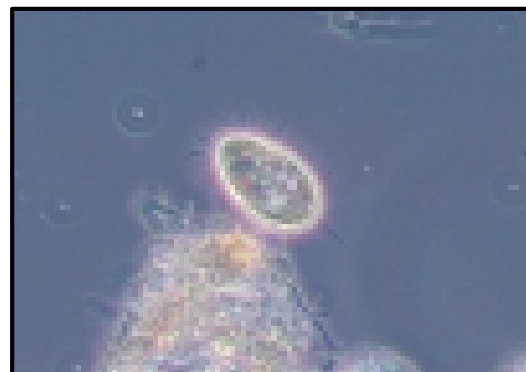


Figure 107 : *Uronema nigricans* (Site 31).

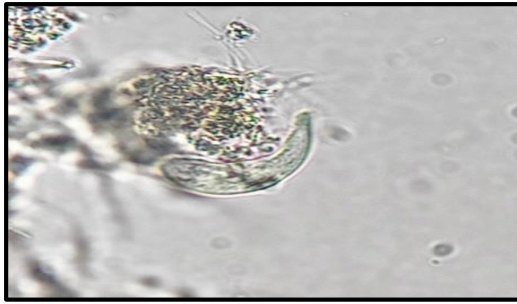


Figure 108 : *Trachelophylum pusillum*
(400X).



Figure 109 : *Trachelophylum pusillum*
(Site 32).

- Les ciliés pérित्रiches sont montrés dans les figures suivantes :

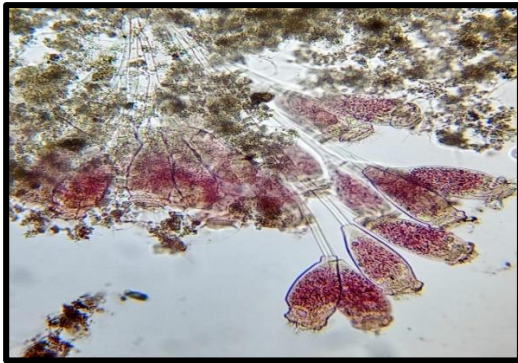


Figure 110: *Carchesium polypinum* (100X).



Figure 111: *Carchesium polypinum* (Site 33).

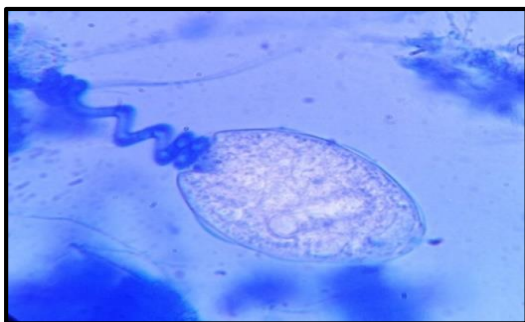


Figure 112 : *Vorticella sp.* (400X).

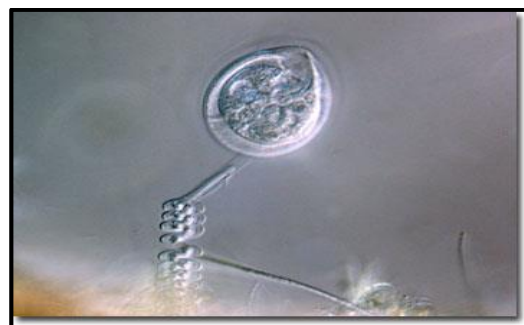


Figure 113 : *Vorticella sp.* (Site 34).



Figure 114 : *Frontonia atra* (400X).



Figure 115 : *Frontonia atra* (Site 35).

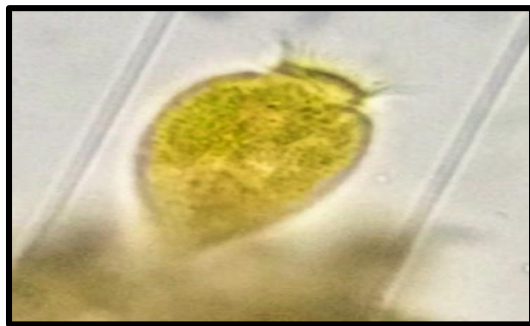


Figure 116 : Tête de vorticelle (100X).

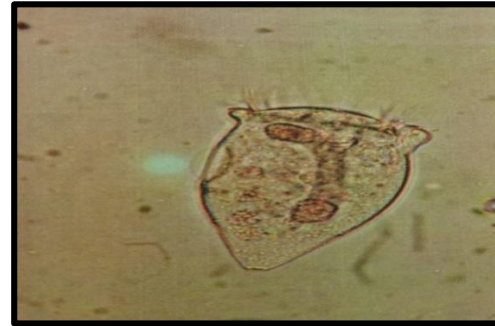


Figure 117 : Tête de vorticelle
(Canler et *al.*, 2014).



Figure 118 : *Zoothamnium pygmaeum*
(400X)



Figure 119: *Zoothamnium pygmaeum* (canler et
al., 2014).

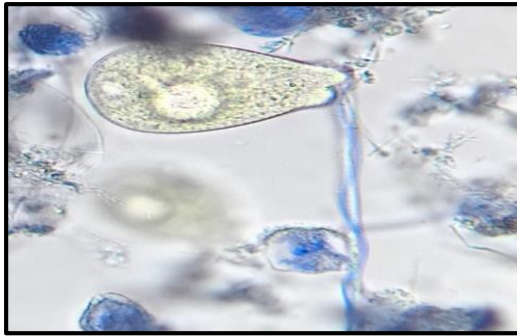


Figure 120: *Vorticella convallaria* (400X).



Figure 121: *Vorticella convallaria* (Site 36).

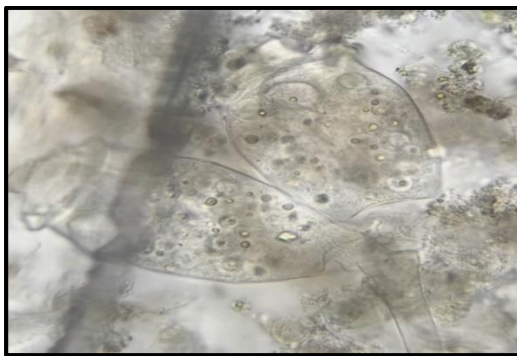


Figure 122: *Epistylis ciliate* (400X).



Figure 123: *Epistylis ciliate* (Site 37).

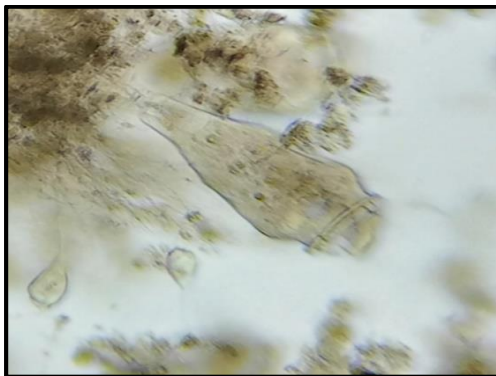


Figure 124 : *Epistylis* (400X).



Figure 125 : *Epistylis* (canler et al, 2014).

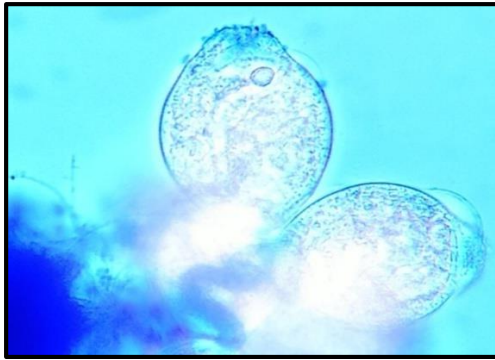


Figure 126 : *Epistylis plicatilis* (400X).

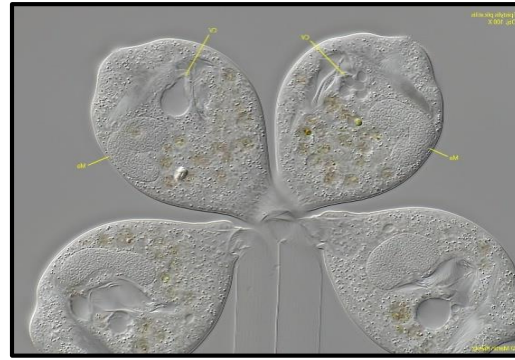


Figure 127 : *Epistylis plicatilis* (Site 38).

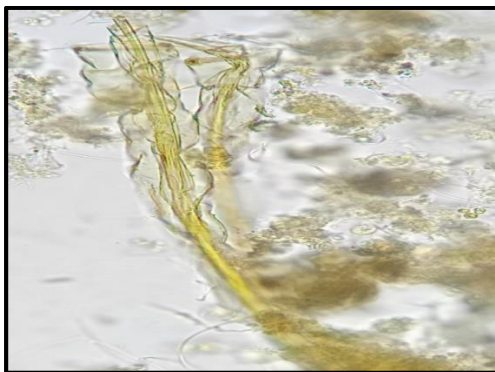


Figure 128 : *Voginicola crystalline* (400X).

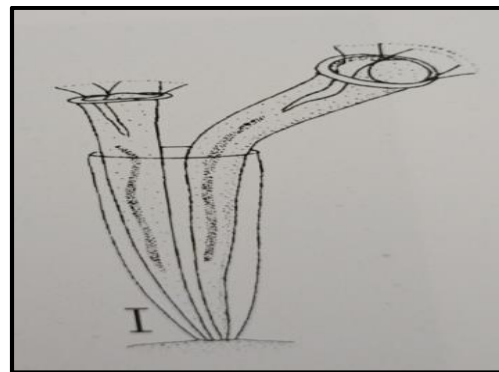


Figure 129 : *voginicola crystalline* (canler et al., 2014).

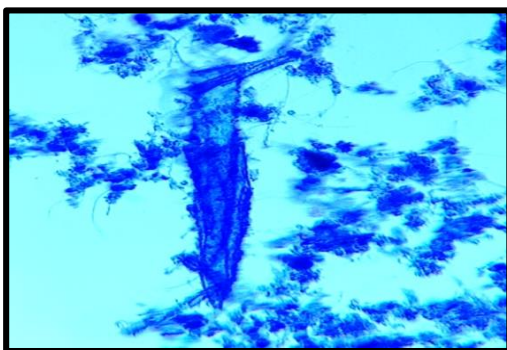


Figure 130 : *Vaginicola* sp. (400X).



Figure 131 : *Vaginicola* sp. (Site 38).

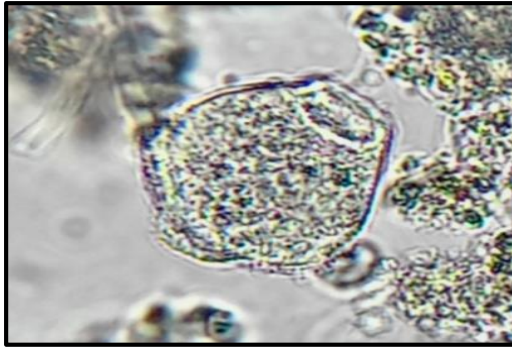


Figure 132: *Vorticelle* (forme télotroche)
(400X).

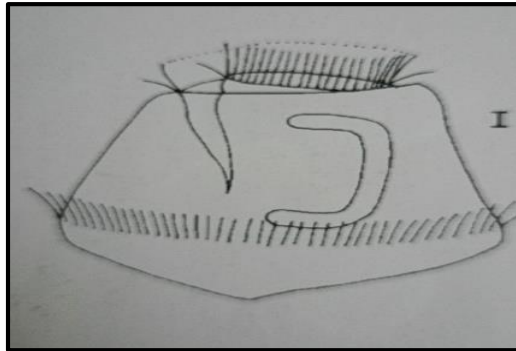


Figure 133: *Vorticelle* (forme télotroche)
(Canler et al., 2014).



Figure 134 : *Epistylis Ehrenberg* (400X).

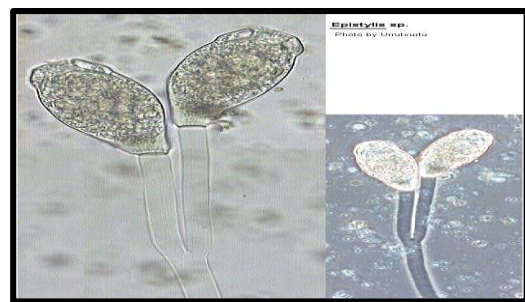


Figure 135: *Epistylis Ehrenberg* (Site 39).



Figure 136 : *Phialina caudata* (400X).



Figure 137 : *Phialina caudata* (Site 40)

- Les ciliée spirotriches sont montrés dans les figures suivantes :

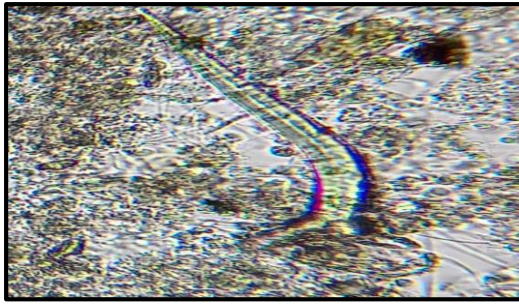


Figure 138 : *Stentor* (100X).

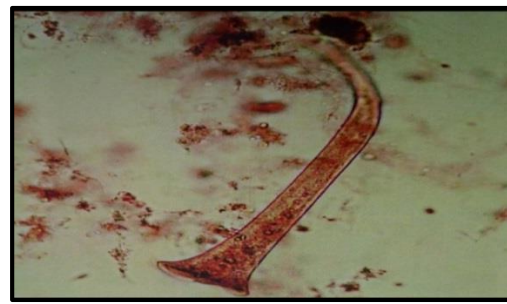


Figure 139 : *Stentor* (canler et al, 2014).

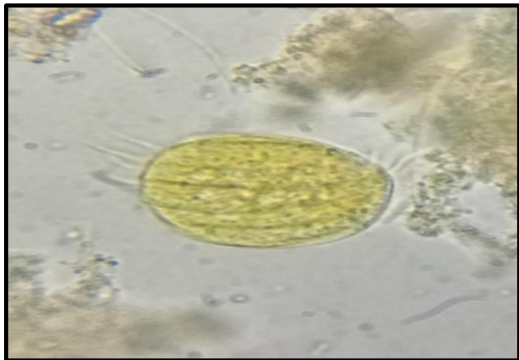


Figure 140 : *Aspidisca costata* (400X).



Figure 141 : *Aspidisca costata* (Site 41).

- Les ciliés suctoriens sont montrés dans les figures suivantes :



Figure 142 : *Acineta foetida* (400X).



Figure 143 : *Acineta foetida* (canler et al., 2014).

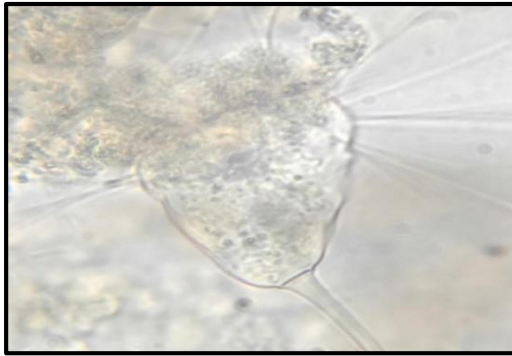


Figure 144: *Tokophrya quadripartita*
(400X).

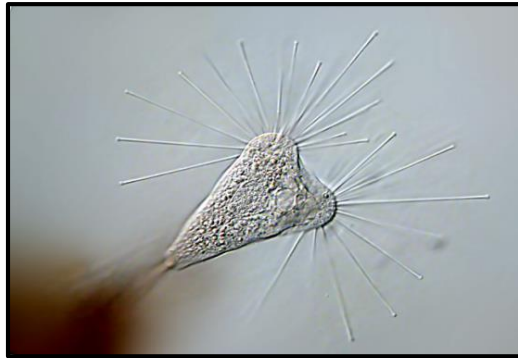


Figure 145: *Tokophrya quadripartita*
(Site 42)

Les ciliées constituent les grandes classes de protozoaires et regroupent :

- **Les ciliés Holotriches**

Trachelophyllum pusillum est un indicateur d'une phase transitoire et n'a pas de relation avec le degré d'aération du système. La présence d'*Uronema* indique une bonne aération (Canler et al., 2014).

- **Les ciliés Péritriches**

Télotroche est une forme mobile des péritriches apparaissant dans des conditions défavorables alors que *Zoothamnium pygmaeum* est un indicateur d'une bonne capacité épuratrice au niveau de la pollution carbonée. *Vorticella* se trouve principalement dans des eaux interstitielles encore chargées en bactérie libre. Ces espèces sont relativement fragiles à l'apport de toxiques et à un manque d'oxygénation.

Opercularia est une espèce qui résiste à des pH acides et à une sous-oxygénation prolongée. Elle peut être présente dans des installations aux charges élevées (Canler et al., 2014).

- **Les ciliés Spirotriches**

Stentor et spirostomum teres sont des indicateurs d'effluent traité de très bonne qualité alors que *Aspidisca* est présente sur tous les types de boues activées au fonctionnement stable (Canler et al., 2014).

- **Les ciliés Suctoriens**

Tokophrya est présent quel que soit de degré d'épuration du système alors que *Acineta* se développe sur des sites dont l'effluent traité est de qualité modérée à faible (Canler et al., 2014).

4-2- Les Métazoaires

Les figures 146 jusqu'à 157 montrent les métazoaires trouvés dans la boue activée de la STEP de Ferdjioua.



Figure 146 : *Nématode* (Vers lisse)
(100X).



Figure 147: *Nématode* (Vers lisse) (Site 43).



Figure 148: *Oligochetes-Aelosoma*(400X)



Figure 149: *Oligochetes-Aelosoma*
(canler et al., 2014).



Figure 150: *Nematode* (vers rond)(100X).

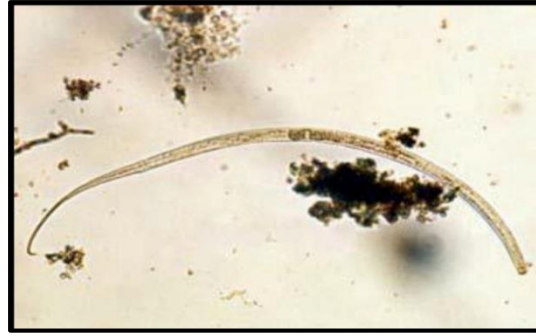


Figure 151: *Nematode* (vers rond) (cavalla, 2014).

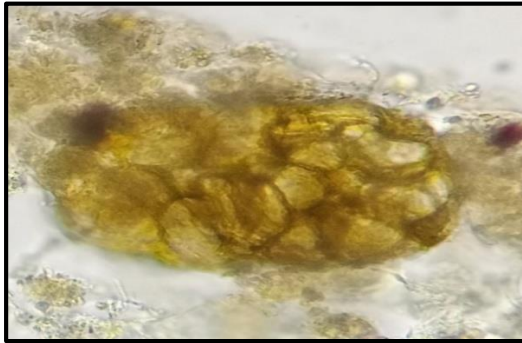


Figure 152: *Ankylostome* (nematodes) (400X).



Figure 153: *Ankylostome* (nematodes) (Site 44).



Figure 154: *Rotifiere Digononta* (400X).



Figure 155: *Rotifiere Digononta* (Canler et al.,2014).

Figure 156 : *Tardigrade sp.* (400X).Figure 157 : *Tardigrade sp.* (Site 45)

La longueur des métazoaires est comprise entre 50µm et 1mm. Les métazoaires présents dans la boue activée de la STEP de Ferdjioua sont :

Les *Rotifères* qui sont, généralement, présents dans les boues de faible charge et d'âge de boue élevée. La présence de *Nematodes* n'est pas défavorable au processus épuratoire. Ces espèces sont assez résistants à la sous-aération du milieu. *Tardigrades* et *Aelosoma* indiquent l'âge de boue élevée, bien stabiliser de très faible charge est la présence de nitrates (Canler et al., 2014).

5- Comptage de la Microfaune

La formule utilisée dans le comptage de la microfaune est :

$$N = n \text{ (nombre de comptes)} \times 6 / 5 \times 250.000$$

$$= n \times 6 / 20 \times 10^6 \text{ (/ml)}$$

Le tableau 13 représente les concentrations de toutes les espèces de protozoaires et de métazoaires trouvées dans la boue active de la STEP de Ferdjioua.

Tableau 13 : Résultats d'énumération de Protozoaires et Métazoaires

Microfaune					
Protozoaires			Comptage (x 10 ⁵ /ml)		
			6 Avril	23 Avril	6 Mai
Flagellés	Petits	<i>Monas globosa</i>	3	3	3
		<i>Oicomonas socialis</i>		3	
		<i>Trachelomonas</i>		3	
	Grands	<i>Peranema</i>		3	
		<i>Eugluna</i>	3	3	3
Sarcodines	Amibes	<i>Porteus</i>		3	
		<i>Hartamanellave rmiformis</i>	3		
	Thécambiens	<i>Arcella</i>	3	9	
		<i>Diffugia</i>	3	12	24
Ciliés	Holotriches	<i>Trachelophylum pusillum</i>			72
		<i>Paramecium</i>		3	
		<i>Uronema</i>	3		
	Péritriches	<i>Vorticella microstoma</i>	9	12	15
		<i>Vorticella convallaria</i>	3	9	27
		<i>Vorticella</i>	21	12	
		<i>Opercularia</i>		6	6

		<i>Tete de vorticella</i>	3	3	
		<i>Télotroche de vorticella</i>		3	
	Spirotriches	<i>Spirostomum teres</i>	3		
		<i>Aspidisca costata</i>	9	18	12
		<i>Euplotes</i>	3		
	Suctoriens	<i>Tokophrya</i>		3	
		<i>Acineta</i>			3
	Métazoaires				
	<i>Rotifères</i>	<i>Philodina</i>	3		
	<i>Tardigardes</i>		3		
	<i>Nématodes</i>			9	3

Ainsi, les taux de toutes les espèces trouvées sont illustrés dans les figures 158, 159 et 160.

5-1- Les résultats du 06 Avril

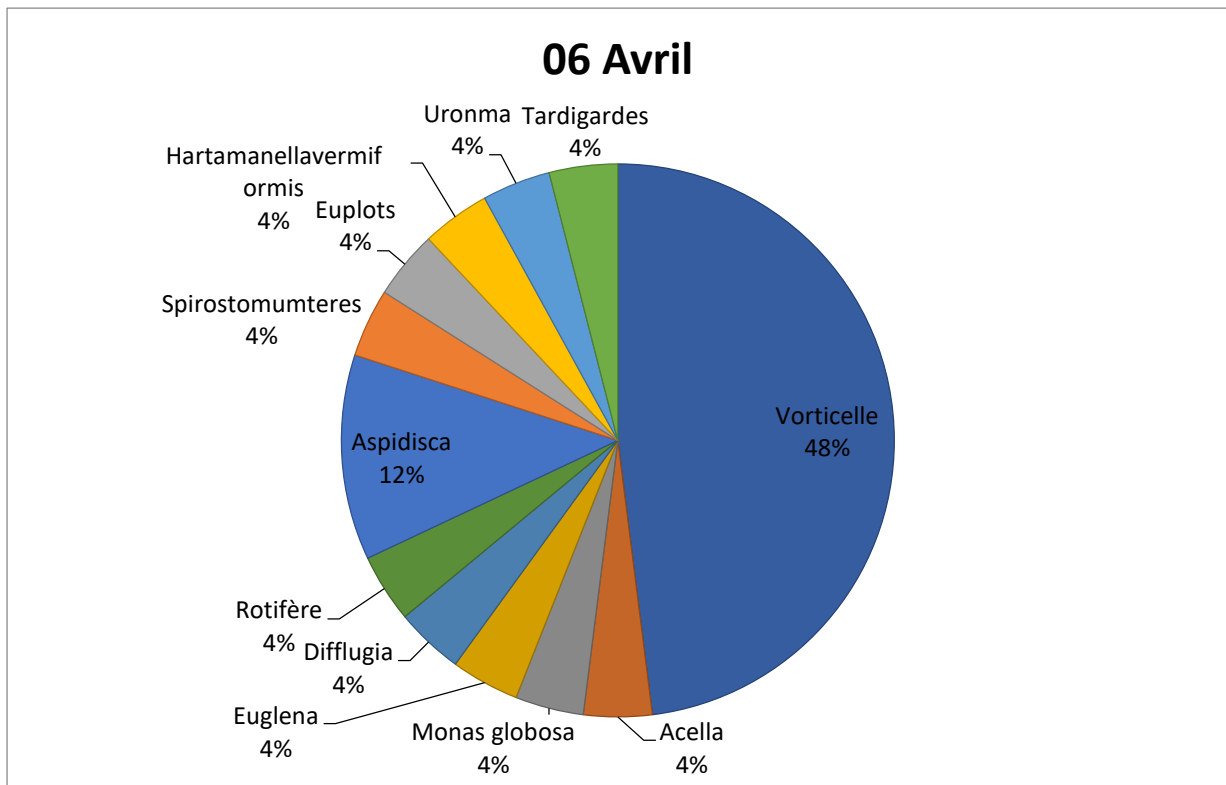


Figure 158 : Diagramme des espèces présentes dans la boue activée le mois d'Avril.

Dans ce diagramme on observe que la *vorticelle* est l'espèce la plus abondante avec 48% (représenter la moitié des espèces présentes dans la boue activée) ; ceci montre que les conditions de traitement sont mauvaises augmentations de substance toxique, et concentration faible de DO semblent améliorer la nitrification (**Motta, 2001**). Suivie de *Aspidisca* avec 12% sont commun dans la boue actives et leur présence est souhaitée car ils indiquent un bon fonctionnement des travaux (**Motta, 2001**).

5-2-Les résultats du 23 Avril

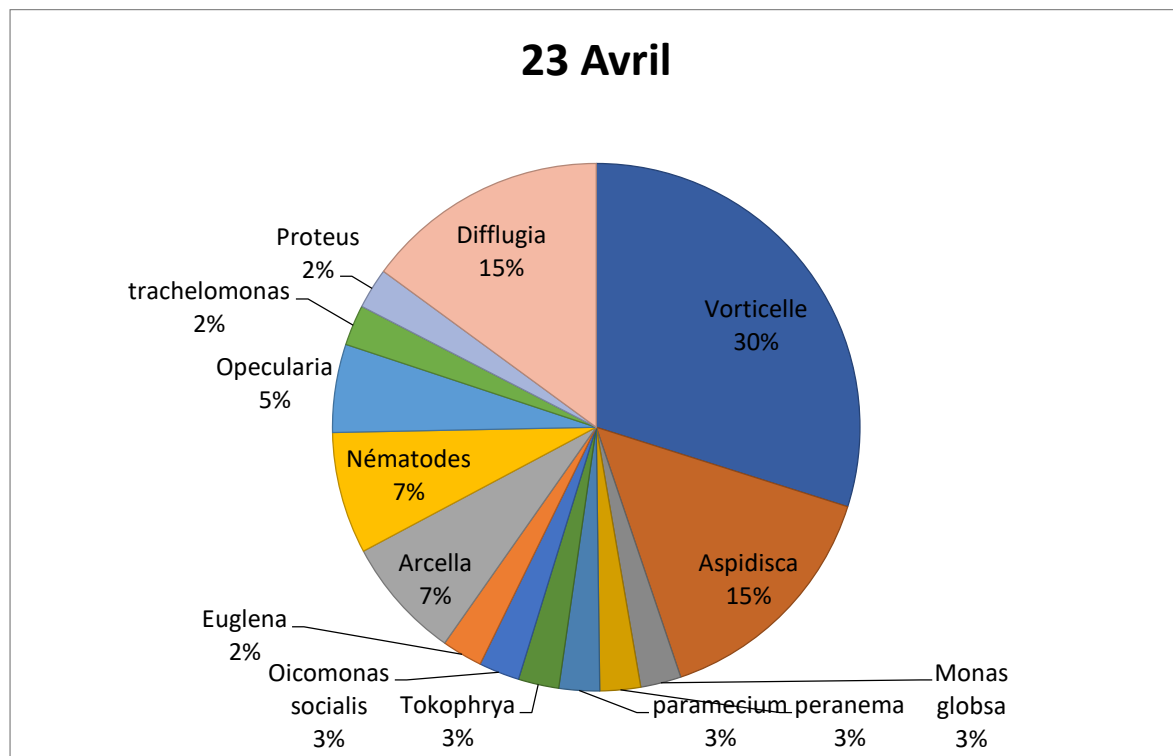


Figure 159 : Diagramme des espèces présentes dans la boue activée le mois d'Avril.

Dans ce diagramme on observe la dominance de *Vorticelle* (30%) et *Aspidisca* (15%) qui donnent les mêmes significations des résultats précédents, puis *Diffflugia* (15%) indique de bonnes conditions de nitrification et de la boue contenant peu de matière organique (**Martins, 2002**), puis *Nématodes* (7%) se retrouvent dans les systèmes où le temps de rétention cellulaire moyen est élevé, bien que leur nombre soit plus élevé dans des conditions défavorables (**Esteban et al., 1991**), *Arcella* (7%) indique un bon processus d'épuration (**Bento et al, 2005**). On remarque que l'incrémentation de la DCO et DO induit l'apparition de ces espèces.

5-3- les résultats du 06 Mai

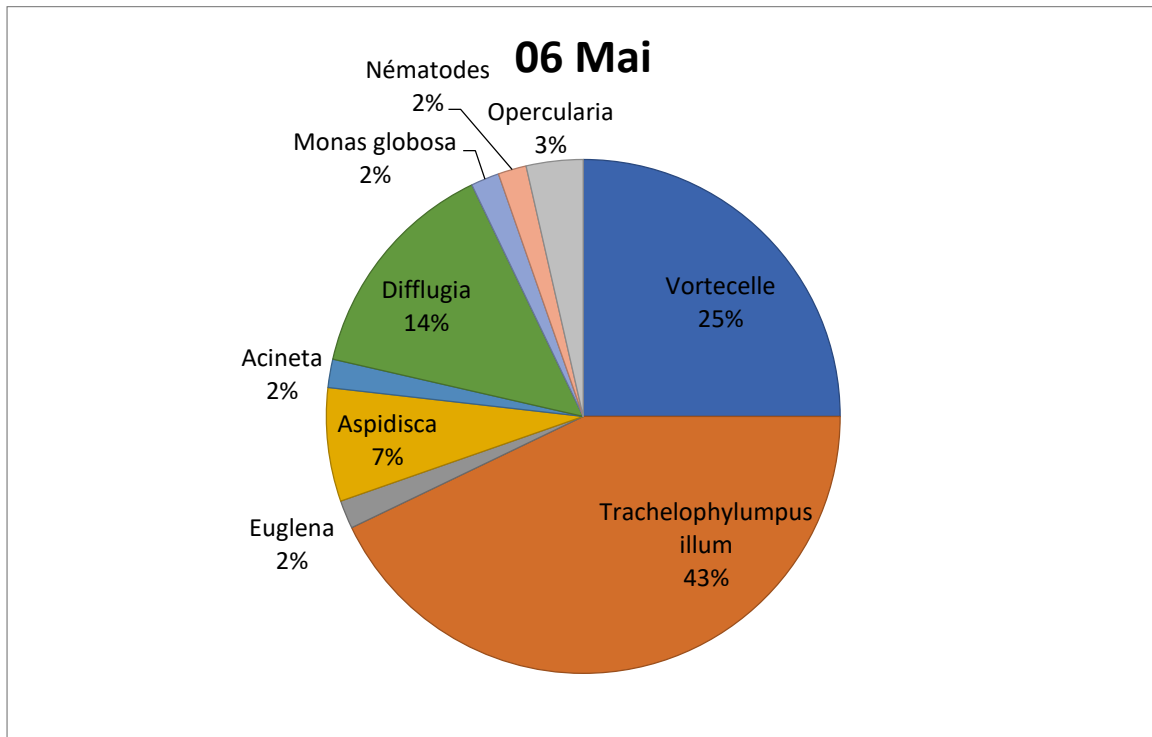


Figure 160 : Diagramme des espèces présentes dans la boue activée le 06 Mai.

Après l'augmentation de la Température et NT on observe l'émergence d'une nouvelle espèce qui n'était pas présente auparavant, à savoir *trachelophylumpusillum* avec un pourcentage très élevée (43%) la plus dominante se sont révélées qualitativement liée à une bonne qualité des effluents (**Henze et al., 1998**) , puis le *Vorticelle* (25%) est un indicateur d'une efficacité épuratrice correcte (**Canler et al., 2014**), ensuite *Diffugia* (14%) indique une minéralisation assez poussée des boues (**Bantol et al., 2005**).

La comparaison des résultats du mois d'Avril et ceux du mois de Mai montre que la modification des paramètres physico-chimiques entraîne un changement des espèces présentes dans la boue activée. Il y a des espèces trouvées le mois d'Avril mais qui disparaissaient le mois de Mai telles que : *Arcella*, *Rotifère* et *Uronoma* alors que *trachelophylum pusillum* apparaît le mois de Mai. Les autres espèces sont toujours présentes (quel que soit les conditions).

Sachant que les espèces dominantes dans notre étude, au mois d'Avril, sont :

Vorticella, *Aspidisca*, *Diffugia*, *Nematodes* et *Arcella*, ces résultats sont différents de ceux obtenus par Bahloul A. et Menacer K. en 2019 dans la même STEP. Elles ont constaté la dominance d'*Arcella*, *Paramecium*, *Mayorella cultura* et *Monas globosa*.

Ceci est dû à la différence des paramètres physico-chimiques en particulier la DBO5 (440 mg/l) , la DCO (974mg/l) et l'oxygène dissout (8,8mg/l). En fait, les valeurs enregistrées dans notre étude sont plus élevées par rapport à celles obtenues en 2019. Cette corrélation est confirmée par les travaux de Pauli et al., 2001.

Les résultats du mois de Mai montrent la dominance de *Vorticella* et *Diffugia* plus l'apparition de *Trachelophylum pusillum* avec un pourcentage élevé (43%). Ceci est dû à l'augmentation de la température, le pH, la concentration de l'azote total et la diminution de l'oxygène dissous qui caractérise le mois de Mai. Ces résultats sont différents de ceux obtenus par Bahloul A. et Menacer K. en 2019. Elles ont enregistré l'apparition de *Monosiga*, au mois de Mai, avec une diminution dans les valeurs de DCO (280,3mg/l) et DBO 5 (120mg/l) et une augmentation dans la température (18.5°).

En comparant nos résultats avec ceux obtenus, en 2017, par Bouchair K. et Bouafia G. dans la STEP de Sidi Merouane et ceux obtenus par Amraoui D. et Boutaguermouchet S. dans la STEP de Oued Athmania, nous observons que la composition de la microfaune est similaire avec l'absence et/ou la présence d'un petit nombre d'espèces. Les différences résident dans la concentration et la dominance de certaines espèces. Ces différences sont dues principalement à la composition des eaux usées, ainsi que des conditions physiques et des facteurs découlant de la technologie de traitement utilisée dans chaque STEP (Pauli et al., 2001).

Conclusion

Conclusion générale

Le traitement des eaux usées est un processus très important dans l'existence quotidienne des habitants des villes et des campagnes. Ce traitement est réalisé non seulement pour protéger la santé publique mais aussi de protéger le milieu récepteur dans l'environnement.

Grace à notre travail, réalisé à la station d'épuration de Ferdjioua Ain Baida Ahreiche, dont le but était d'étudier la microfaune de la boue activée, nous avons pu identifier, par observation microscopique, plusieurs espèces de protozoaires et de métazoaires. Nous avons trouvés, durant la période d'étude, que la microfaune renferme principalement : 7 espèces de flagellés telles que *Peranema*, *Monas globosa*, *Eudorina*, *Oicononas socialis* et *Trachelomonas*, *Polytomella*, *Halteria*, 11 espèces de sarcodines telles que *Arcella*, *Diffugia globulosa*, *Diffugia*, *Proteuse*, *Euglipha*, *Grand Amibe*, *Monogononta colurella*, *Arcella vulgaris*, *Mayroella cultura*, *Amibe à plusieurs pseudopodes*, *Rhizopoda* avec la dominance d'*Arcella* et *Diffugia* , les 4 familles de ciliés telles que l'holotriche : *Trachelophylum pusillum*, *Uronema*, *Uronema nigricans* et *Paramecium* avec la dominance de *Trachelophylum pusillum* au mois de Mai. Les Péritriches sont *Vorticella*, *Vorticella convallaria*, *Vorticella microstoma*, *Télotroche de vorticella*, *Carchesium polypinum*, *Epistylis*, *Epistylis ciliata*, *Epistylis plicatilis*, *Voginicola crystalline*, *Vaginicola*, *Phialina caudata*, *Epistylis Ehrenber*, *Zoothamnium pygmaeum*, *Frontonia atra* et l'*Opercularia* avec la dominance de *vorticelle*. Les Spirotriches sont *Euplotes*, *Aspidisca costata* et *Spirostomum teres* avec la dominance d'*Aspidisca costata* en particulier au mois d'Avril. Les Suctoriens sont *Tokophrya quadripartita* et *Acineta foetida* avec une émergence faible pendant les deux mois. Et enfin les Métazoaires identifiés sont : *Nématode*, *Rotifère*, *Oligochetes- Aelostoma* et *Tartigrade* avec la dominance de *Nématodes*.

L'apparition de ces espèces dans la boue activée de la station d'Ain Baida Ahreiche peut donner des informations sur le système de traitement de la STEP. Donc, d'après nos résultats la qualité du traitement des eaux usées de la STEP et les conditions de fonctionnement de l'installation sont bonnes et les eaux épurées sont conformes aux normes de rejet. Nos résultats indiquent, aussi, une aération prolongée et une bonne nitrification ce qui est confirmé par les paramètres physico-chimique (DCO, DBO 5, O 2 dissout, T°, NT et pH).

Annexe

Les solutions de colorations :

- La solution de coloration d'encre de chine :

- Encre de chine 2ml
- Eau distillée 20ml

- La solution de coloration de vert de méthyle :

- Poudre de vert de méthyle 2g
- Eau distillée 100ml
- Acide acétique 10ml

- La solution de coloration de bleu de méthyle :

- Poudre de bleu de méthyle 2g
- Eau distillée 100ml
- Acide acétique 10ml

- La solution de coloration de rouge neutre :

- Poudre de rouge neutre 1g
- Eau distillée 100ml

- La solution de coloration de Lugol

Les Références

Les références bibliographiques

A

Abdallah B., 2016. Contribution à l'étude de la qualité d'oued el hammam wilaya de Guelma. Thèse de doctorat, Université de 8 mai 1954 Guelma

Amadou H., 2007. Modélisation du séchage solaire des boues de station d'épuration urbaines. Thèse de doctorat. Université Louis Pasteur-Strasbourg I, France.

Amorce X., 2012. Boue de station d'épuration : technique, valorisation et élimination. Série technique. P 8-9.

Amraoui D., Boutaguermouchet S., 2017. Etude de la microfaune de la boue activée Station d'épuration des eaux usées d'Oued Athmania. Mémoire master. Centre universitaire Abd Alhafide Boussouf Mila.

Anonyme, 2006. Journal officiel de la république algérienne, N°26, 23 avril 2006.

Aouadi H., Bensouilh M et Douakha R., 2007. Le procédé de traitement biologique par boues activées.

B

Bahloul A., Menacer K., 2019. Etude de la microfaune du boue activée Station d'épuration des eaux usées de Ain Beida Ahreiche Ferdjioua. Mémoire master. Centre universitaire Abd Alhafide Boussouf Mila.

Baumont S., Camard J.P., Lefranc A. et Franconi A., 2004. Réutilisation des eaux usées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Rapport ORS.

Bechac J., Boutin P et Mercier B., 1983. Traitement des eaux usées. 2^{ème} Edition

Becker P., Koester D et Popov MN., 1999. Biodegradation of olive oil and the treatment of lipidrich wool scouring wastewater under aerobic thermophilic conditions. Journal of Water reaserch, 33 (3), P653–660.

Behra P., 2013. Chimie et environnement : cours, études de cas et exercice corrigé. Edition Dunod. Paris. 415p.

Belaid N., 2010. Evaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d'El Hajeb-Sfax : salinisation, accumulation et phyto absorption des élément métalliques. Thèse de doctorat, Université Limoges, France, 236p.

Bento A., Phlippi L., Sezerino P et Regnatto E., 2005. Microfauna characterization in activated sludge wastewater treatment plant: an instrument of assessment and control of process
ARTIGO TECNICO.

Bioma Co., 2006. Notion technique et pratique sur l'épuration de l'eau et l'évacuation des boues. Document technique. Geolife Ed Copyright, (Switzerland).

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

Bouafia G., Bouchaire K., 2017. Etude de la microfaune de boue activée Station d'épuration des eaux usées de Sidi Merouane. Mémoire master. Centre universitaire Abd Alhafide Boussouf Mila.

Bouchareb S., Boucherit B., 2018. Tissage de fibres végétales pour caractérisation mécanique des composites bidirectionnels, Thèse de doctorat, Université de M'sila.

Boucheikh A. et Menouer A., 2014. Etude et caractérisation des boues huileuses au niveau RA1/Z. Mémoire de Master. Université Mohamed Boudiaf Oran.69p

Boumediene A., 2013. Bilan de suivi des performances de fonctionnement d'une station d'épuration à boues activées : cas de STEP Ain El Houtz. Université de Tlemcen

Bourrier R., Satin M et Selmi B., 2017. Guide technique de l'assainissement. 5^eed. Paris : éditions Le Moniteur

Branchart S., 2007. Techniques extensives d'épuration des eaux usées domestiques. In Dossier IEW, Wallonie

BrigitteV., 2008. Le guide de l'eau. Germain : Eyrolles. 123p

Brissaud F., Desbordes M., Montpellier L-M-H., Breil P et Joannis C., 1993. Drainage des eaux claires parasites par les réseaux sanitaires. De l'observation à l'élaboration d'un modèle prototype. L.H.M. Montpellier France

Brook T-D. et Madigan M-T., 1993. Microbiologia. Naucaplan de Juarez. Edition Prentice Hall, México

C

Canler J-P., 2005. Dysfonctionnements biologiques des stations d'épuration : origines et solutions. FNDAE n°33 Document technique, Cemagref, p 9-28.

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

Cauchi H., Nakache S., Zagury, B., Carre C., Denis D., Larbaigt D. et Martigne S., 1996. Dossier : la réutilisation des eaux usées après épuration. Techniques, Sciences et Méthodes 2 pp 81-118.

Cavalla M., 2014. Atlas de microbiologie. Biotechnologie-ST2S, académie de lyon. p9-34

Cerra I. et Desagnat M., 2014. Traitement des boues des stations d'épuration des petites collectivités. Université MONTPELLIER 2. France 38p.

Chergui-Hamaidi F, Zoubiri A-F., Debib A., Hamaidi M-S et Kais H., 2016. Evaluation de la charge en pathogènes et de la microfaune dans les eaux de l'effluent brute et traité rejeté dans un milieu récepteur. Larhyss Journal, n°26 : 183-208.

Cherifi M., 2013. Décontamination électrocinétique d'une boue d'eau potable contenant de l'aluminium, Thèse de doctorat. Université Badji Mokhtar. 111p

Cioci G., 2006. Etude structure-fonction de glycoconjugués et de lectines bactériennes et fongiques. Ecole doctorale chimie et sciences du vivant, 81p

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

D

Dahou A. et Brek A., 2013. Lagunage aéré en zone aride performance épuration cas de (région d'Ouergla). Mémoire master académique. Université de Ouergla.

Dallel M., 2012. Evaluation du potentiel textile des fibres d'alfa caractérisation physicochimique de la fibre au fil, Thèse de doctorat, Université de haute alsace France.

Damotta 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, 5-12, 41, 42p

Davet P., 1996. Vie microbienne du sol et production végétale. Edition, INRA, PARIS, France.

Degrémont SA., 1989. Mémento technique de l'eau, 9^{ème} Edition, Tome 1 et 2, Editions Lavoisier, Paris.

Desjardins R., 1997. Le traitement des eaux. 2^{ème} édition. Ed. Ecole polytechnique.

Dhaoudi H., 2008. Traitement des eaux usées urbaines, les procédés biologiques d'épuration. Thèse, Université Virtuelle de Tunis, 34p.

Diagne., 2017. Répartition des paramètres physico-chimiques et métalliques des eaux usées de Hann (Dakar) avec le milieu marin. International Journal of Biological and Chemical Sciences

Dragesco J., 1974. Les protozoaires. **Office de la Recherche scientifique et Techniques Outre-Mer.** Paris, 153-180p.

Dugniolle H., 1980. L'assainissement des eaux résiduaires domestiques, CSTC-revue n°344, 52.

Dupont A., 1981. Hydrologie, captage et traitement des eaux. Paris : Eyrolles. 262p

E

El Haité H., 2010. Traitement des eaux usées par les réservoirs opérationnels et réutilisation pour l'irrigation, thèse de doctorat, Ecole nationale supérieure des mines de saint-etienne.

Esteban J., Tellez C et Bautista L., 1991. Dinamics of ciliated protozoa communities in activated sludge processus. water research.

F

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

Franck R., 2002. Analyse des eaux, aspects réglementaires et techniques. Edition Scérén CRDP AQUITAINE, Bordeaux, p165-260.

G

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

Galaf F. et Ghannam S. 2003. Contribution à l'élaboration ; un manuel et ; un site web sur la pollution du milieu marin. Mémoire d'ingénieur, Maroc : Université Hassan II de Rabat.

Ganjous D., 1995. La pollution des milieux aquatiques, aide-mémoire. Ed. Techniques et documentations. Lavoisier. Paris, 220p.

Gaomella A. et Gueres, A., 1978. Le traitement des eaux publiques industrielles et privées, Edition/ Eyrolles paris, 262p.

Garnier C., 2005. Etude chimique et microbiologique des exopolymères de boue activée : Elément de compréhension du fonctionnement des station d'épuration. Thèse de Doctorat, université de Lorraine.

Grégorio C. et Badot P-M., 2007. Traitement et épuration des eaux usées industrielles pollués : procédés membranaires bioadsorption et oxidation chimique. France : Presses universitaires de France-Comité.351p

Guezlane-Tabibl N., Kahlouche B et Athmani-Guemouri., 2010. Microbiologie. 3ème édition O.P.U, Ben-Aknoun, Alger. 103-104p

H

Hadj-Sadok M., 1999. Modélisation et estimation dans les bioréacteurs prise en compte des incertitudes application au traitement de l'eau, Thèse de doctorat, Université de France.

Hanze M., Gujer W., Mino T., Matsuo T., Wentzel M., Marais G et van Loosdrecht M.C.M., 1998. Activated sludge models No 2D, ASM2D. Wat. Sci.Technol.

Hernot F., 2016. L'argile, son utilisation à l'officine, thèse de doctorat, Université de l'urf santé d'angers.

J

Jenkins D., Richard M-G et Daigger G.T., 2004. Manual on the causes and control of activated sludge bulking and foaming, 3^{ed} edition, Boca Raton: Lewis Publishers.

Joannis C, Chebbo G, Lacour C., 1992. « Métrologie et études diagnostic ", Rapport LCPC - Plan Urbain.

K

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

Karoune S., 2008. Effets des boues résiduelles sur le développement des semis du chêne liège (*Quercus Suber L.*). Mémoire de magistère en écologie végétale de l'université « Mentouri » de Constantine.

L

Ladjel F. et Bouchefer S., 2004. Exploitation, d'une station d'épuration à boues activées Niveau II. CFMA (centre aux métiers de l'assainissement). Boumerdes. 90p.

Ladjel F., 2006. Exploitation d'une station d'épuration à boue activée niveau 02. Centre de formation au métier de l'assainissement (CFMA), Boumerdes.

Léonard A., 2002. Etude du séchage convectif de boues de station d'épuration, suivi de la texture par microtomographie à rayons X, thèse de Doctorat, Université de Liège.

Louvet-Noel J., 2010. Effets des antibiotiques sur le procédé d'épuration par boues activées. Etude du cas de l'érythromycine, du floc bactérien au réacteur biologique. Thèse de Doctorat. Université de Nancy, France. 36-38

M

Martins M., Nicolau A., Motam et Lima N., 2002. L'importance de la microfaune en tant qu'outil pour travailler dans les stations d'épuration.

Mekhalif F., 2009. Réutilisation des eaux résiduelles industrielles épurées comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement, mémoire de magistère, université du 20 Aout 1955, Skikda, Algérie.

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 de Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou. 4; 21; 23; 24, 22p, 109p.

Mohand Said Ouali., 2001. Cours de procédés unitaires biologiques et traitement des eaux. Place centrale de Ben-Aknoun Alger 05.

Monod J., 1989. Mémento technique de l'eau tome II. 9^e Ed degrémont. (Rueil Malmaison). 1459.

Motta M., Pons M, Vivier H, Amaral A, Ferreira E. et Roche N., 2001. The study of protozoa population in wastewater treatment plants by image analysis. Brazilian Journal of Chemical Engineering.

Mohammed Saïd M. (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, 172p

Moumene S. et Djemame A., 2011. Contribution à l'étude de traitement des eaux usées de la ville de Guelma. Mémoire de Master. Université 8 Mai de Guelma

N

Navarro P., 2003. Les traitements biologiques des eaux et des boues (2^{ème} partie). L'opéron 25, p2-25.

O

OMS., 2006. Guidelines for the safe use of waste water, excreta and greywater volume 4: Excreta and greywater use in agriculture, 182

P

Pandolfi D., 2006. Caractérisation morphologique et physiologique de la biomasse des boues activées par analyse d'images. Thèse de doctorat, institut polytechnique de lorraine. P39-67

Perrier R., Auffret V-D., Kemp T et Zonszain F., 1997. Expériences faciles et moins faciles en sciences biologiques. Doin éditeurs, France. p272-276

Plagellat C., 2004. Origines et flux de biocides et de filtres UV dans les stations d'épuration des eaux usées. Thèse de doctorat. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne.

R

Ramade F., 2002. Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. Edition Dunod. 02. Paris. 1075p.

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

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.

Rodier J., 2005. L'analyse de l'eau naturelle, eaux résiduaires, eaux de mer, 8e éd. Paris. DUNOD technique.

Rodier J., 2009. L'analyse de l'eau, 9ème édition, Dunod, Paris.

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. 8^{ème} Ed. Dunod, PARIS.

Roula S., 2005. Caractérisation physico-chimiques et valorisation des boues résiduaires urbaines pour la confection de substrats de culture en pépinière hors-sol. Mémoire Magister en agronomie Université Batna1

S

Saggai M., 2004. Contribution à l'étude d'un System d'épuration à plantes macrophytes pour les eaux usées. Mémoire Magister en agronomie Université de Ouargla

V

Vedry B., 1996. Les biomasses épuratrices. Ed, Agence de l'eau Seine-Normandie, p16-26

Veolia Eau., 2008. Les Enjeux d'assainissement. Service Technique. Marseille Région sud-Est.

Z

Zobeidi. Aet Bebbi. A., (2013) ; Variations saisonnières dans une station d'épuration des eaux urbaines par lagunage aéré, sous climat aride d'El-Oued Sud-Est Algérie.SIHE, Novembre Ouargla (Algérie).

Références Sitographiques

Site 1 : <https://learnandconnect.pollutec.com/traitement-des-eaux-usees-industrielles/26-04-2024>

Site 2 : <https://www.siaap.fr/metiers/depolluer-les-eaux-usees/26-04-2024>

Site 3 : <https://fr.genesiswatertech.com/article-de-ce-blog/impacts-environnementaux-des-rejets-d%E2%80%99eaux-us%C3%A9es-industrielles-non-trait%C3%A9es/26-04-2024>

Site 4 : <https://agronomie.info/fr/notion-de-la-reutilisation-des-eaux-usees/26-04-2024>

Site 5 : <http://dx.doi.org/10.1051/lhb/199300502-2024>

Site 6 : <https://www.josmose.fr/blog/118-les-eaux-usees-et-leur-traitement26-04-2024>

Site 7 : https://fr.freepik.com/photos-premium/travailleur-laboratoire-verifie-niveau-pollution-eau-du-sol-pres-usine-chimique-controle-pollution-pour-ameliorer-fonctionnement-stations-epuration-eaux-usees-dans-usines-entreprises-modernes_91712755.htm26-04-2024

Site 8 : <http://t5-2waterpollution.blogspot.com/2010/04/post-3-biological-chemical-thermal-and.html26-04-2024>

Site 9 : http://www.hygiene_publique.gov.pdf/spip.php?Article61.

Site10 : <https://hqe.guidenr.fr/cible-5-hqe/disque-biologique.php> (consulté le 19-04-2024)

Site11 : <http://eau.gouvernement.lu/fr/ressources-en-eau/eaux-usees-pluviales/traitements/traitement-par-le-procede-des-lits-bacteriens.html>(consulté le 20-04-2024)

Site12 : <http://www.bougepourtaplanete.fr/schema-insttallation-bac-degraisseur.html> (consulté le 20-04-2024)

Site13 : <https://www.encyclopedie-environnement.org/zoom/filtres-plantes-roseaux/> (consulté le 18-04-2024)

Site14 : <https://www.researchgate.net/figure/coupe-du-filtre-a-sable-utilise-la-phase-de-filtration-se-fait-a-partir-de-leffluent> (consulté le 19-04-2024)

Site15 : <https://www.franceenvironnement.com/sous-rubrique/incineration-des-boues> 27-04-2024 .

Site 16 : <https://micoscope-microscope.org/pond-water-critters-protozoan-guide/mastigophora/21-04-2024>

Site 17 : <https://www.labostep.com/observation-microscopique> 20-04-2024

Site 18 : <https://realmicrolife.com/peranema/6-5-2024>

Site 19 : <https://eol.org/pages/90494/media> 5-5-2024

Site20: https://www.plingfactory.de/Science/Atlas/Kennkarten%20Algen/01_ealgae/Euglenophyceae/e-source/Trachelomonas%20euchlora.html10-5-2024

Site 21 : <https://www.photomacrography.net/forum/viewtopic.php?t=39725>.11-5-2024

Site 22 : <https://www.flickr.com/photos/microagua/39411749204/in/photostream/>05-05-2024

Site 23 : <https://www.risingtideconservation.org/colurella-adriatica-update/>

Site24 : <https://www.naturamediterraneo.com/public/data8/geppe/rDSC17111p.jpg> 201161284359 rDSCI7111p.jpg

Site 25 : http://protst.i.hosei.ac.jp/PDB/Images/Heterokontophyta/Monas/sp_1c.html

Site 26 : <https://sciencephotogallery.com/featured/amoeba-proteus-gerd-guenther.html>10-5-2024

Site 27 : http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB/Images/Sarcodina/Euglypha/sp_3d.jpg

Site 28 : <https://arcella.nl/euglypha-cristata/5-5-2024>

Site 29 : <https://www.kerajaanbiologi.com/tag/rhizopoda/>

Site30 : <https://www.plingfactory.de/Science/Atlas/KennkartenProtista/source/Pleuronema-coronatum.html>

Site 31 : <https://www.biodiversidadvirtual.org/micro/Uronema-nigricans-img48.html>5-5-2024

Site 32 : <http://mizutomusi.web.fc2.com/photo/a.pleurosigma.html>5-5-2024

- Site 33 : <http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB/Images/Ciliophora/Carchesium/polypinum.html>
[10-5-2024](#)
- Site 34 : <https://micro.magnet.fsu.edu/primer/techniques/dic/dicgallery/vorticellasmall.html>
[5-5-2024](#)
- Site 35 : <https://mikrokosmos.gallery/ciliaten/frontonia-atra> 9-5-2024
- Site 36 : <https://ukrb.in.com/index.php?mode=tab1&category=374375>(6-5-2024)
- Site 37 : <https://www.sciencephoto.com/media/475839/view/epistylis-ciliate-protzoa>(6-5-24)
- Site 38 : <https://realmicrolife.com/epistylis-plicatilis/>(6-5-2024)
- Site 39 : <https://www.nies.go.jp/chiiki1/protoz/morpho/ciliopho/epistyli.htm>(6-5-24)
- Site 40 : <https://uk.inaturalist.org/taxa/1445988-Phialina-caudata>(10-5-2)
- Site 41 : <https://www.flickr.com/photos/microagua/37130089343>(6-5-2024)
- Site 42 : <https://www.plingfactory.de/Science/Atlas/KennkartenProtista/01e-protista/e-Suctoria/e-source/Tokophrya%20lemnarum.html>
- Site 43 : <https://content.ces.ncsu.edu/lesion-nematode-in-corn>
- Site 44 : <https://parasitoprimate.jimdofree.com/index-par-lettres/a/ancylostoma-spp/>(10-5-2024)
- Site 45 : <https://www.planetary.org/space-images/tardigrade-under-the-microscope>