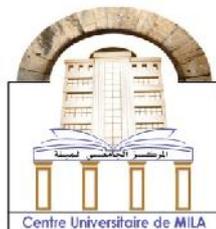


N° Réf :.....



Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf-Mila

Institut des Sciences et de la Technologie

Département des Sciences de la Nature et de la Vie

Mémoire préparé En vue de l'obtention du diplôme de **Master**

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Biologie Appliquée et Environnement

Option : Biochimie et microbiologie appliquée

Thème :

Étude de la microfaune de boue activée : Station d'épuration des eaux usées de Sidi Merouane

Présenté par : BOUCHAIR khadidja & BOUAFIA ghania

Devant le jury composé de :

Boubendir Abdehafid

MCA

Président

Djeddi Hamsa

MAA

Examineur

Harreche Ouahiba

MAA

Promoteur

Année Universitaire: 2016/2017

Dédicace

Je voudrais dédier cet humble mémoire

A mes très chers parents :

Pour leur dévouement et leur présence permanente. Ils n'ont cessé de me soutenir pendant tout mon parcours. Je leur exprime toute ma gratitude pour leur soutien qui m'a permis d'être à ce niveau. Puisse

Dieu, le tout puissant, vous préserver et vous accorder santé, longue vie.

A mes adorables frères :

Abd elfattah, Mohamed, Ikkal , Abd elkodose plein de joie, de réussite et de sérénité. Je vous exprime à travers ce mémoire mes sentiments de fraternité et d'amour.

A mes soeurs et leur enfant :

Amel ,Amina, Soumia et leurs enfant

A mon binôme :

Ghania, Souhaitant que le fruit de nos efforts fournis jour et nuit, nous mène vers le bonheur fleuri

A mes chers amis

Pour témoigner de la fraternité qui nous affilie. Pour vos soutiens sans faille et les souvenirs mémorables que nous partageons.

A toute ma promotion

Les études sont avant tout _ _ _ Notre unique et seul atout

Bouchair khadidja

Dédicace

*A ma mère, la source de la compassion ...
l'amour*

*A mon père, symbole de la patience et
l'altruisme ... fierté*

*A mes membres de la famille, Soutien et mon
aide ... la fierté*

*A tous les personnages m'a appris en
reconnaissance de mes professeurs*

A mon sœur seulement... plus fidèle

*A mon binôme khadidja, Souhaitant que le
fruit de nos efforts fournis jour et nuit, nous
mène vers le bonheur fleuri*

A mes collègues du lot ... Merci

Consacrer ce travail modeste ...

Ghania

Remerciements

Tous d'abord nous remercions Allah le tout puissant pour nous avoir donnés la santé, le courage et la volonté pour terminer ce modeste travail.

Nous exprimons nos profondes gratitudees à madame Harreiche. O pour son encadrement, son orientation, ses conseils et son aide pour nous avoir dirigé ce travail.

Nous remerciment vivement l'ensemble des membres du jury :

Monsieur Boubendir Abdelhafid président de jury, madame Djeddi Hamsa examinatrice de ce mémoire, qui nous ont honoré d'être membres du jury de soutenance.

Tous nos professeurs qui ont donné le soutien dans la durée de formation.

Nous remercions tous les membres du laboratoire pour leur contribution directe ou indirecte.

Nous remercions toutes l'équipe de la station d'épuration de Sidi Merouane.

Nos remerciements vont à tous mes amis (es) de la promotion

Nos remerciements vont également à tous ceux qui nous en aidé de près ou de loin au long de la réalisation de ce travail.

Résumé :

Dans la wilaya de Mila, la STEP de Sidi Merouane rejette les eaux épurées dans le barrage de Béni Haroun considéré comme étant une source importante d'eau potable dans la région. L'objectif recherché dans notre travail est l'étude de la microfaune de la boue activée de cette station.

L'observation microscopique de la boue activée pendant une période de trois mois a permis d'identifier différentes espèces protozoaires (ciliés, sarcodine et flagellés) et métazoaires (*rotifères* et *nématode*). Elle a révélé aussi la présence de quelques algues et champignons telle que *Gyrosigma*, *Navicula* et *Alternaria*.

D'autre part, le comptage de la microfaune a permis de déterminer des espèces permanents et d'autre transitoires.

Nos résultats permettent de déduire que la STEP de Sidi Merouane fonctionne dans le domaine de faible charge avec une aération prolongée ou l'âge de boue est élevé donc la qualité du traitement est bonne.

Mots clés :

STEP de Sidi Merouane, boue activée, microfaune, identification, protozoaires et métazoaires.

Abstract:

In the wilaya of Mila, the WWTP of Sidi Merouane rejects waters purified in the dam of Blessed Haroun considered like being a source important of drinking water in the region. The objective searched for in our work is the survey the microfauna of the activated sludge for this WWTP.

The microscopic observation of the activated sludge during one period of three months has permitted to identify different species protozoa (ciliates, sarcodine and flagellates) and métazoa (rotifères and nematode). It also revealed the presence of some algae and mushrooms as Gyrosigma, Navicula and Alternaria.

On the other hand, the numbering of the microfauna has permitted to determine the species permanents and transients other.

Our results permit to deduct that the WWTP of Sidi Merouane functions in the domain of weak load with a prolonged ventilation or the age of mud is raised the quality of the treatment therefore is good.

Keywords:

Waste water treatment station Sidi Merouane, activated sludge, microfauna Identification, protozoa and metazoa.

ملخص

تتمثل هذه الدراسة في تحديد الكائنات الحية الدقيقة للحماة النشطة الموجودة بمحطة الصرف الصحي بسيدي مروان. هذه الأخيرة تطرح مياهها الصافية في سد بني هارون' الذي يعتبر مصدر هام للشرب في الشرق الجزائري. الملاحظة المجهرية للعينات الخام للحماة النشطة سمحت لنا بتحديد الأنواع المختلفة من البروتوزوار (ciliés, sarcodine, flagellés) والميثازوار (nématode, rotifère) مع وجود الفطريات (*Alternaria*) والطحالب (*Gyrosigma, Navicula*).

ومن خلال عدنا للكائنات الحية للحماة تمكنا من معرفة الأنواع الدائمة والأنواع المؤقتة. ونتائجنا أظهرت أن محطة التطهير بسيدي مروان تعمل في مجال الحمل الضعيف' مع التهوية لفترات طويلة وسن الحماة مرتفع' كل هذا أدى إلى أن تكون نوعية المعالجة جيدة.

الكلمات المفتاحية :

محطة تصفية المياه المستعملة بسيدي مروان' الحماة النشيطة' الكائنات الحية الدقيقة' تعريف' بروتوزوار' ميثازوار

Liste des tableaux

tableau	Titre	N° de page
1	Caractéristiques des eaux usées	4
2	Différents types de boues de STEP	9
3	Caractéristiques essentielles de boues pouvant être rencontrés en épuration urbaine	12
4	Fiche d'observation de la boue activée	47
5	Comptage des microfaunes pour la STEP de Sidi Merouane pendant trois mois.	65

Listes des figures

Figure	Titre	N° de page
1	Dessablage	5
2	Composition de la boue activée	10
3	Un déshuileur utilisé dans l'épuration des eaux usées	14
4	Filière d'épuration des eaux usées par boues activées	15
5	Protozoaire.	20
6	<i>Diplomondida</i> X1000	21
7	Les actinopodes (gauche : actinophrys ; droite : clathrulina)	22
8	Amoeba	22
9	Thécamébiens (<i>Arcella</i>) X400	23
10	Protozoaire cilié	24
11	<i>Paramecium</i> sp X1000	25
12	<i>Vorticella</i> sp X400	25
13	Aspidisca	26
14	Rotifère	28
15	Nématode X100	29
16	Une gastrotriche X400 (contraste de phase)	29
17	Vers oligochètes X100	30
18	Acariens	30
19	A : Bactéries floculées ; B : Bactéries libres ; C : Bactéries filamenteuses	31
20	Localisation de la station d'épuration de Sidi Merouane	33
21	Schéma général du principe de fonctionnement des traitements d'épurations physico-chimiques.	35

22	Dégrillage grossier : automatique (a) et Manuelle (b)	36
23	Dégrillage fin : automatique (a) et Manuelle (b)	36
24	Dessablage – Déshuilage	37
25	Bassin d'aération	38
26	Dégazeur	39
27	Le clarificateur	40
28	La méthode de prélèvement	41
29	La cellule de malassez	44
30	Les échantillons de la boue active (STEP de Sidi Merouane)	48
31	Observation à état frais X400	49
32	Observation à état sec X400	49
33	Coloration par l'iode iodure X400	49
34	Coloration par vert de méthyle X400	49
35	Coloration par l'encre de chine X400	49
36	Coloration par le rouge X400	49
37 et 38	<i>Monas globosa</i> X400	50
39 et 40	<i>Oicomonas socialis</i> X400	51
41 et 42	<i>Euglena gracilis</i> X400	51
43 et 44	<i>Phacus sp</i> X400	51
45 et 46	<i>Bodo caudatus</i> X400	52
47 et 48	<i>Rhynchomonas sp</i> X400	52
49 et 50	<i>Tetramitus sp</i> X400	52
51 et 52	<i>Diffugia globulosa</i> X100 et X400	53
53 et 54	<i>Actinophrys sp</i> X400	53
55 et 56	<i>Arcella sp</i> X400	54
57 et 58	<i>Diffugia sp</i> X400	54

59 et 60	<i>Trinema sp</i> X400	54
61 et 62	Amibe à thèque X400	55
63 et 64	<i>Hartamanella sp</i> X400	55
65 et 66	<i>Paramecium sp</i> X400 et X100	56
67 et 68	<i>Colpiduim sp</i> X400 et X630	56
69 et 70	<i>Uronema sp</i> X100	56
71 et 72	<i>Tetrahymena pyriformis</i> X100	57
73 et 74	<i>Colpoda cucullus</i> X100	57
75 et 76	<i>Didinium sp</i> X100	57
77 et 78	<i>Litonotus</i> X400 et X200	58
79 et 80	<i>Vorticella sp</i> X400.	58
81 et 82	<i>Vorticella microstoma</i> X400 et X630	58
83 et 84	<i>Epistylis sp</i> X400	59
85 et 86	<i>Zoothamnium sp</i> X400	59
87 et 88	<i>Carchesium sp</i> X400	59
89 et 90	<i>Vaginocola</i> X400 et X100	60
91 et 92	<i>Stentor sp</i> X100	60
93 et 94	<i>Aspidisca sp</i> X400	61
95 et 96	<i>Euplotes sp</i> X400	61
97 et 98	<i>Trithigmostoma</i> X400	61
99 et 100	<i>Histiculus sp</i> X400 et X600	62
101 et 102	<i>Acineta sp</i> X400	62
103 et 104	<i>Sphaerophrya pusilla</i> X400	63
105 et 106	Nématode X400 et X100	63
107 et 108	Rotifère X400 et X100	64
109 et 110	<i>Alternaria</i> X400 et X100	64

111 et 112	<i>Gyrosigma</i> X400 et X200	65
113 et 114	<i>Navicula</i> X400	65
115	Diagramme d'évolution de la microfaune de boue activée (STEP de Sidi Merouane).	68

Liste des abréviations

Al : aluminium

C : carbone

Ca : calcium

CO₂:dioxyde de carbone

cm : centimètre

DBO₅ : Demande biochimique en oxygène pendant 5 jours (mg/l)

DCO : demande biochimique en oxygène (mg/l)

Eqh :équivalent habitant

EC : La conductivité électrique

Fe : fer

H₂O : eau

H⁺ : proton

K : potassium

Km : kilomètre

MES : Matière en suspension (mg/l)

MS : matières sèches

MV : matières volatiles

MM : matières minérales

MVS : matières volatiles sèches

Mg : magnésium

m : mètre

m³ : mètre cube

mm : millimètre

mm² : millimètre carre

mm³ : millimètre cube

min : minute

N : azote

N₂ : azote moléculaire

NO : azote organique

NO₂⁻ : nitrite

NO₃⁻ : nitrate

NT : azote total

NH₃ : ammoniacque

NH₄: ammonium

O₂ : oxygène

P : phosphore

PT : phosphore total

STEP: Station d'épuration

T° : température

V₃₀ : volume de boues décante en 30 minute en (ml/l)

µm : micromètre

µl : microlitre

Table des matières

Dédicace	I
Remerciement	III
Résumé	IV
Liste des tableaux	VII
Liste des figures	VIII
Liste des abréviations	XII
Table des matières	XIV

Synthèse bibliographique

Introduction

Chapitre 1 : l'épuration des eaux usées

1. Généralités	2
2. La pollution des eaux	3
2-1- La pollution domestique et urbaine	3
2-2- La pollution industrielle	3
2-3- La pollution agricole	3
3. Les caractéristiques des eaux usées	4
4. L'épuration des eaux usées	4
4-1- L'épuration mécanique	5
4-1-1- Dégrillage	5
4-1-2- Dessablage	5
4-1-3- Dégraissage-Déshuilage	6
4-2- L'épuration physico-chimique	6
4-3- L'épuration biologique	6

Chapitre 2 : épurations des eaux usées par la boue activée

1. Généralité	8
1-1- Définition	8
1-2- Les différents types des boues actives	8
1-2-1- Les boues primaires	8
1-2-2- Les boues secondaires ou activées	8
1-2-3- Les boues mixtes	9
1-2-4- Les boues physico-chimiques	9

1-3-Composition de la boue activée	10
2. Formation de la boue activée	10
3. Facteurs caractéristiques des boues	11
3-1-Caractéristiques chimiques des boues	11
3-2-Caractéristiques physiques des boues	11
3-3- Caractéristiques des boues selon la filière de traitement des eaux résiduaires urbaine (ERU)	12
4. Le procédé d'épuration par boue activée	13
4-1- Prétraitements	13
4-2- Traitement primaire	14
4-3- Traitement secondaire par boue activées	14
4-4- Le traitement tertiaire	16
4-4-1- L'élimination de l'azote	16
4-4-2- L'élimination du phosphore	17
4-4-3- La désinfection	17
4-5- Procédés de traitement des boues sur STEP	17

Chapitre 3 : la composition microbiologique de la boue activée

1. La microfaune	19
1-1-Embranchement des protozoaires	19
1-1-1-Les flagelles	20
1-1-2-Sous embranchement des sarcodines	21
1-1-3-Sous embranchement des ciliés	23
1-2-Embranchement des métazoaires	27
1-2-1-Sous embranchement des rotifères	27
1-2-2-Sous embranchement des nématodes	28
1-2-3-Sous embranchement des gastrotriches	29
1-2-4-Sous embranchement des oligochètes	29
1-2-5-Sous embranchements des tardigrades et des acariens	30
2. La microflore des boues activées	31

Chapitre 4 : présentation de la station d'épuration de Sidi Merouane

1. Localisation géographique	33
2. Capacité du traitement des eaux usées	33

3. Qualité des eaux usées brutes	34
4. Le rôle de la station	34
5. Filière du traitement	34
5-1- Traitement physique	35
5-1-1-Prétraitement	35
5-1-2- Traitement primaire	37
5-2-Traitement biologique	38
5-3- Traitement physico- chimique	38
5-4- Traitement des boues	40
6. Laboratoire	40
Matériel et méthodes	
1. Prélèvement et transport des l'échantillon	42
1-1-Prélèvement	43
1-2-Transport	43
2. Observations macroscopique et microscopiques des boues	43
2-1-Observations macroscopique	43
2-2-Observations microscopique	43
3. Le comptage de la microfaune présente	45
Résultats et discussion	
1. Examen macroscopique de la boue activé	47
2. Examen microscopique de la boue activé	48
2-1- Identification	50
2-1-1-Les flagellés	50
2-1-2-Les sarcodines	53
2-1-3-Les ciliés	55
2-1-4-Les métazoaires	63
2-2- Comptage	65
2-2-1-La présence des flagellés	69
2-2-2-La présence des sarcodines	69
2-2-3-La présence des ciliés	69
2-2-4-Les métazoaires	70
Conclusion	72
Annexe	73
Références bibliographiques	74

Synthèse bibliographique

Introduction :

L'eau ne peut être considérée comme un simple produit commercial, elle doit être classée comme un patrimoine universel qui doit être protégée, défendue et traitée comme tel (Devaux I, 1999).

Chaque jour, l'homme consomme de fortes quantités d'eau, tant pour son usage personnel que professionnel. Ces eaux, une fois utilisées, sont recueillies afin d'être épurées. Les eaux usées ainsi collectées ont donc deux origines : une origine domestique et une origine industrielle. Dans le cas de zones peu ou moyennement industrialisées, ces eaux résiduares sont mélangées et traitées ensemble dans une station d'épuration (STEP) qui a pour objectif de réduire la charge polluante qu'elles véhiculent afin de rendre au milieu aquatique une eau peu polluée (Rodier et *al*, 1996).

Les procédés d'épuration des eaux sont très nombreux que ce soit dans le domaine urbain ou industriel. La technique la mieux adaptée à chaque situation doit être choisie (bassin aérobie, anaérobie, lit bactérien, disques biologiques...). En fait, l'épuration par boues activées en aérobie 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 (Champiat, 1994).

Les problèmes biologiques, encore fréquents, limitent la fiabilité des stations d'épuration à boues activées. Complexes dans leur compréhension, leur maîtrise est parfois délicate pour les opérateurs chargés d'assurer le bon fonctionnement des installations (Duchène, 1994).

A l'heure actuelle, la station d'épuration de Sidi Merouane, deuxième STEP dans la wilaya de Mila est considérée comme terrain vierge. Cette STEP rejette les eaux épurées dans le barrage de Béni Haroun connu comme étant une source importante d'eau potable dans l'est Algérien. Dans le cadre de ce travail nous, proposons une étude de la microfaune de la boue activée dans cette station. Donc quelles sont les espèces qui forment la microfaune et quelles sont leur indication sur la qualité de traitement des eaux usées?

Chapitre 1 : l'épuration des eaux usées

1. Généralités :

L'eau est une ressource vitale pour l'homme et sa santé et son développement, mais l'accroissement de sa consommation par les individus et des problèmes de pollution, engendrés principalement par le rejet des eaux usées d'une manière anarchique et sans traitement, ont contribué considérablement à la contamination de la nappe phréatique et à l'accroissement de sa remontée, donc l'épuration de ces eaux est obligatoire. C'est pour cela que, depuis l'antiquité, les hommes ont mis en place, dans les villes des systèmes d'assainissement (Agence de l'eau, 1994).

Le traitement ou l'épuration des eaux usées a donc pour objectif de réduire la charge polluante qu'elles véhiculent. Par conséquent elles devraient être dirigées vers des stations d'épuration dont le rôle est de concentrer la pollution contenue dans les eaux usées sous la forme d'un petit volume de résidu, des boues et de rejeter une eau épurée répondant à des normes bien précises (Agences de l'eau, 1994).

Et face à tous les problèmes que connaît notre pays en matière d'assainissement et de gestion des stations d'épuration, le recours à d'autres techniques d'épuration, moins coûteuses et plus simples à gérer est devenu incontournable, si l'on veut protéger les ressources en eau, la santé publique et sauvegarder les milieux récepteurs (Komadel, 1990).

Les scientifiques pensent alors à traiter ces effluents. C'est alors que les concepts de lits bactériens immergés (1895) et de boues activées (1914) ont vu le jour. En effet, grâce au développement des connaissances en microbiologie, les hommes comprennent que les micro-organismes sont responsables de la dégradation de la matière organique. Ils imaginent alors utiliser les propriétés des microorganismes afin de pouvoir rejeter les effluents dans le milieu naturel sans conséquences néfastes (Lacroix, 2008).

Les premières stations d'épuration apparaissent au début du 20ème siècle. Au fil des années, la compréhension des mécanismes épuratoires s'est améliorée et s'est perfectionnée, c'est ainsi que sont apparues dans les années 1950 des techniques de traitement de l'azote, puis du phosphore dans les années 1970. Mais ces installations sont surtout mises en place pour des agglomérations de taille importante. La plupart des eaux usées domestiques ou industrielles étaient rejetées telles quelles dans les cours d'eau (Lacroix, 2008).

2. La pollution des eaux :

La pollution de l'eau s'entend comme, une modification défavorable ou nocive des propriétés physico-chimiques et biologiques, produite directement ou indirectement par les activités humaines, les rendant impropres à l'utilisation normale établit (Dugniolle, 1980 ; Glanic et Benneton, 1989).

2-1-La pollution domestique et urbaine :

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

2-2-La pollution industrielle :

Tous les rejets résultants d'une utilisation de l'eau autre que domestique sont qualifiés de rejets industriels. Cette définition concerne les rejets des usines, mais aussi les rejets d'activités artisanales ou commerciales : blanchisserie, restaurant, laboratoire d'analyses médicales (Baumont et *al.*, 2005).

Selon l'activité industrielle, les polluants qui peuvent se trouver dans les eaux usées sont :

- Des matières organiques et des graisses (abattoir, industries agroalimentaire) ;
- Des hydrocarbures (industries pétrolières, transports) ;
- Des acides, bases, produits chimiques (divers industries chimique ; tanneries) ;
- Des matières radioactifs (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs) (Monnier, 1989).

2-3-La pollution agricole :

Ce sont des eaux qui ont été polluées par des substances utilisées dans le domaine agricole. Dans le contexte d'une agriculture performante et intensive, l'agriculteur est conduit à utiliser divers produits d'origine industrielle ou agricole (pesticide ou engrais) dont certains présentent ou peuvent présenter, des risques pour l'environnement et plus particulièrement pour la qualité des eaux (Metahri ,2012).

Il s'agit principalement :

- Des fertilisants (engrais minéraux du commerce ou déjections animales produites ou non sur l'exploitation) ;
- Des produits phytosanitaires (herbicides, fongicides, insecticides,...) (Metahri, 2012).

3. Caractéristiques des eaux usées :

Les normes de rejet des eaux usées, fixent des indicateurs de qualité physico-chimique et biologique. Ce potentiel de pollution généralement exprimés en mg/l, est quantifié et apprécié par une série d'analyse. Certains de ces paramètres sont indicateurs de modifications que cette eau sera susceptible d'apporter aux milieux naturels récepteurs (Metahri, 2012). Pour les eaux usées domestiques, industrielles et les effluents naturels, on peut distinguer les caractéristiques suivantes :

Tableau n°1 : Caractéristiques des eaux usées (Xanthoulis, 1993 ; Gaujous, 1995 ; Rodier et *al.*, 1996 ; Baumont et *al.*, 2004 ; Franck, 2005 ; Taramoul, 2007 ; Rodier, 2009).

Les paramètres physiques	Les paramètres chimiques	Les paramètres microbiologiques
T°	DBO ₅	la flore aérobie mésophile totale
pH	DCO	des coliformes totaux
O ₂	N	coliformes fécaux
MES	NO ²⁻	staphylocoque
Matières décantables	NO ³⁻	streptocoque
Turbidité		salmonelles
EC		les shigelles

4. L'épuration des eaux usées :

L'épuration des eaux est un ensemble de techniques qui consiste à purifier l'eau, soit pour recycler les eaux usées dans le milieu naturel, soit pour transformer les eaux naturelles en eau potable (Baumont et *al.*, 2000).

Le procédé de purification se compose en principe des dispositifs suivants:

4-1- L'épuration mécanique :

Après collecte et acheminement vers les stations d'épuration, le processus d'épuration des eaux usées peut débuter. A ce stade, elles contiennent de nombreuses matières très hétérogène, grossières, et potentiellement dangereuses pour les machines, cette purification est appelée Prétraitement (Pony, 2009).

4-1-1- Dégrillage :

Les matières grossières, comme par exemple les morceaux de bois, sacs plastique et textiles, sont d'abord éliminées par tamisage à l'aide d'un dégrilleur (Degremont, 2006).

L'opération est plus ou moins efficace, en fonction de l'écartement entre barreaux de grille. Il existe:

- * Dégrillage fin, pour écartement inférieur à 10 mm.
- * Dégrillage moyen, pour écartement de 10 à 40 mm.
- * Pré dégrillage, pour écartement supérieur à 40mm (Degremont, 2006).

4-1-2- Dessablage :

Le dessablage s'effectue à l'aide d'un dessableur sur des particules de dimensions supérieures à 200 μm (Figure 1), comme par exemple le sable et le gravier, se déposent dans ce réservoir de sédimentation. Il faut noter que les matières solides organiques possèdent une vitesse de sédimentation largement inférieure à celle du sable (Gaid, 2008).



Figure 1 : Dessablage (Dégriment, 1972).

4-1-3-Dégraissage-Déshuilage :

L'opération de dégraissage-déshuilage consiste à séparer de l'effluent brut, les huiles et les graissages par flottation. Souvent ces opérations sont combinées dans un même ouvrage où la réduction de vitesse dépose les sables et laisse flotter les graisses. On enlève ainsi de l'eau les éléments grossiers et les sables de dimension supérieure à 200 microns ainsi que 80 à 90 % des graisses et matières flottantes (soit 30 à 40 % des graisses totales) (Ladjel, 2006).

4-2-L'épuration physico-chimique :

Les eaux usées vont subir des procédés physiques ou physico-chimiques visant à éliminer, par décantation la charge de matière organique et minérale en suspension. C'est ce que l'on appelle le traitement primaire. Ce dernier élimine jusqu'à 60 % des matières en suspension (MES), et environ le tiers de la DBO₅ entrante (Belhani et al, 2008), mais permet d'obtenir qu'une épuration partielle des eaux usées (Pony, 2009).

L'eau passe alors au travers le bassin décanteurs, à faible vitesse permettant ainsi la sédimentation des particules au fond des bassins, et leur enlèvement via des pompes (Pony, 2009).

Une étape de coagulation-floculation préalable à la décantation permet d'améliorer l'épuration. Cette technique comporte une première phase d'adjonction d'un réactif (sels de fer ou d'aluminium) qui provoque l'agglomération des particules en suspension, provoquant ainsi leur chute au fond de l'ouvrage (Pony, 2009).

4-3- L'épuration biologique :

A l'issue des traitements précédents, la majorité des polluants est présente à l'état dissous. Le traitement secondaire de nature biologique a pour but d'éliminer la pollution due au carbone, azote et phosphore. Il utilise la capacité auto-épuratrice de microorganismes dont l'activité est améliorée en les plaçant dans des conditions optimales (Belhani et al, 2008).

Les procédés biologiques de traitements, peuvent être classés en :

- ✓ Le lit bactérien ou granulaire (culture fixe) : le ruissellement de l'eau à traiter sur le support ne nécessite pas de clarificateur. En ce qui concerne le lit granulaire, le coût de fonctionnement est faible.

Le rendement est moyen pour un lit bactérien et bon pour un lit granulaire. Les chocs toxiques sont bien supportés, le fonctionnement est stable, mais il y a le risque de colmatage ;

- ✓ Les biodisques (culture fixe) : la biomasse est fixée sur des disques tournants au sein du mélange à traiter. Le coût de fonctionnement est faible. Ce traitement est efficace à faible charge uniquement. Il est sensible aux conditions climatiques (lessivage du biofilm par la pluie) ;
- ✓ Le lagunage (culture libre) : il est caractérisé par une concentration faible en organismes épurateurs, de la dimension d'un étang. Il est utilisé lorsque de grands espaces sont disponibles. Son coût de construction et de fonctionnement est faible, son rendement est élevé, et son fonctionnement est relativement stable (Satin et Belmi, 1999 ; Degrémont, 2005).
- ✓ Les boues activées (culture libre) : le traitement se fait en deux phases, contact de la biomasse et de l'eau usée dans un réacteur puis séparation des solides de la phase liquide épurée par décantation. Le processus d'épuration par boues activées est le plus répandu (60 % des unités de dépollution en France (Cardot, 1999)). Son développement est dû à ses excellentes performances de dépollution (rendement supérieur à 95 %) par rapport aux autres procédés existants. En contre partie, suivant le type d'effluents à traiter, ce procédé peut être difficile à maîtriser notamment pour le traitement de l'azote et du phosphore ou en cas de variations importantes des flux à traiter (Satin et Belmi, 1999 ; Degrémont, 2005).

Chapitre 2 :

épurations des eaux usées par la boue activée

1. Généralité :

1-1-Définition :

Les éléments polluants et leur produits de transformation, retirés de l'eau usée au cours du traitement d'épuration, se trouvent rassemblés, dans la grande majorité des cas, en suspension, plus ou moins concentrée, dénommée « boue » (Franck, 2002).

La composition d'une boue urbaine dépend à la fois de la nature de la pollution initiale de l'eau et des procédés de traitement aux quels elle a été soumise dans la station d'épuration (Franck, 2002).

Ainsi, les boues sont principalement constituées de particules solides non retenues par les prétraitements en amont de la station d'épuration, de matières organiques non dégradées, de matières en suspension minérales et de micro-organismes. Elles se présentent sous forme d'une « soupe épaisse » qui subit ensuite des traitements visant en particulier à réduire leur teneur en eau (Champiat, 1994).

1-2-Les différentes types des boues activées :

1-2-1-Les boues primaires :

Elles sont issues du traitement primaire et sont produites par simple décantation, en tête de station d'épuration. Ces boues sont fraîches, non stabilisées (forte teneur en matière organique) et fortement fermentescibles. De par la nature des nouvelles installations, elles tendent à disparaître (Degremont, 1989).

1-2-2-Les boues secondaires ou activées :

Ces boues sont stabilisées biologiquement et résultent de traitement biologique par le biais des propriétés épuratoires des microorganismes. Par conséquent, la matière minérale et la matière organique réfractaire sont accumulées tandis que la matière organique biodégradable sert de substrat aux micro-organismes épurateurs. Ces micro-organismes, principalement des bactéries, utilisent la pollution biodégradable pour leur maintenance et pour leur croissance. Les produits formés sont des cellules, du dioxyde de carbone et de l'eau (Grulois et al, 1996 ; Paul et al, 1999).

1-2-3- Les boues mixtes :

Le mélange de boues primaires et secondaires conduit à l'obtention des boues mixtes. Leur composition est dépendante de la quantité de boues primaires et secondaires produites (Degrémont, 1989).

1-2-4- Les boues physico-chimiques :

Ces boues sont issues d'un traitement utilisant des flocculants minéraux (sels de fer ou d'aluminium). Le traitement physico-chimique est principalement utilisé sur les boues industrielles ou pour palier au sous dimensionnement de certaines stations d'épuration (stations situées en zones touristiques, par exemple) (Degrémont, 1989). Tableau n°2 montre les différents types de boues de la station d'épuration des eaux usées.

Tableau n°2: Différents types de boues de STEP (Amorce, 2012).

Type de boue	Boues primaires	boues secondaire	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 un petit pourcentage de composés inorganiques	mélange de boues primaires et de boues biologiques	
	couleur grise siccité 5%	boue granulaire, de couleur brun-jaunâtre, pulvérulente et de décantation difficile siccité 1-2%	siccité 5%	siccité 4-5%

1-4-Composition de la boue activée :

La boue active est constituée par le floc, lui-même étant constitué de bactéries agglomérées, emprisonnées dans une matrice organique (Figure 2). Dans les conditions d'une eau usée, les bactéries sont sous-alimentées et pour mieux résister elles sécrètent des polymères exocellulaires composés d'un mélange de polysides principalement (Lazarova et al, 2003). Grâce à ce polymère les bactéries peuvent :

- ✓ Adhérer les unes aux autres pour éviter leur dispersion ;
- ✓ Retenir et absorber les substances nutritives de l'eau usée et donc de concentrer les matières nutritives au voisinage des bactéries.

Viennent ensuite se développer sur et à proximité de ces floccs une faune de protozoaires voire de métazoaires qui profitent de ce milieu (Lazarova et al, 2003).

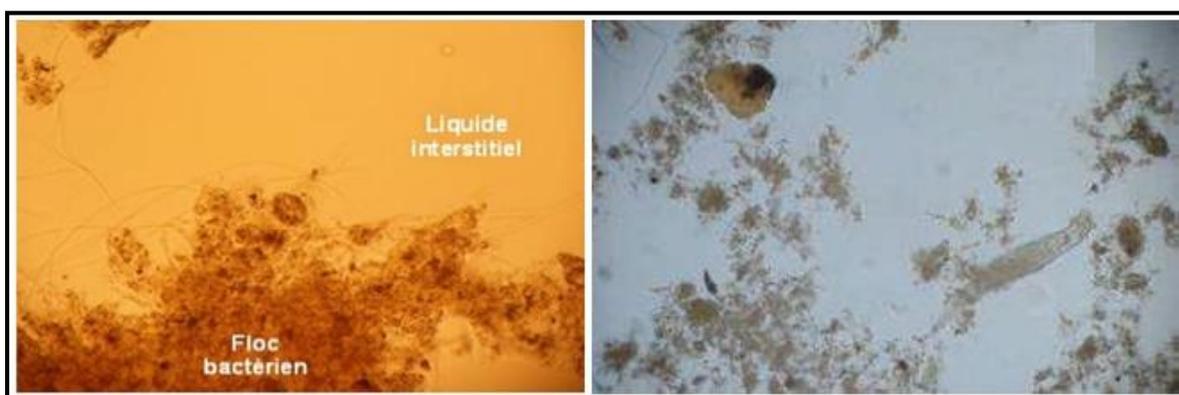


Figure 2 : composition de la boue activée (Lazarova et al, 2003).

2. Formation de la boue activée :

La formation de la boue comprend essentiellement trois étapes : Transfert ; Conversion ; Flocculation.

- ✓ **Le transfert** : se produit lorsque la substance organique nutritive est en contact avec les microorganismes. Dans cette phase, la matière nutritive est transférée de l'eau aux organismes par deux processus simultanés : l'absorption et l'adsorption. La matière organique soluble est absorbée en passant directement à travers la membrane de la cellule.

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, laquelle est ensuite absorbée par la cellule (Bioma.co, 2006).

- ✓ **La conversion** de la matière nutritive en matière cellulaire a lieu après l'entrée de la nourriture dans la cellule, et est désignée par le terme de métabolisme cellulaire (Bioma.Co, 2006).
- ✓ **La floculation** : se produit lorsque les micro-organismes sont rassasiés et que leur activité diminue. Cette phase exige une eau calme, comme pendant la sédimentation (Bioma.Co, 2006).

3. Facteurs caractéristiques des boues :

3-1 Caractéristiques chimiques des boues :

Il s'agit des caractéristiques générales de la partie solide et de la partie liquide d'une boue. (Franck, 2002).

La phase solide, est caractérisée par :

- *La concentration en matières sèches (MS) en g/L ;
- *La teneur en matières volatiles (MV) en % des MS ;
- *La teneur en matières minérales (MM) en % des MS ;

Dans la phase liquide, il est intéressant de mesurer :

- *Le pH ;
- *La DCO et DBO5 pour apprécier la pollution organique ;
- *La teneur en acides volatiles et en sulfures pour les processus de stabilisation anaérobie des boues (Franck, 2002).

3-2- Caractéristiques physiques des boues :

Il s'agit des propriétés mécaniques des boues et, plus précisément, de leur consistance. Pour décrire l'état physique d'une boue traitée, on doit en apprécier :

- *La consistance ;
- *la plasticité ;
- *la friabilité ;
- *l'adhérence ;
- *le comportement sous agitation (Franck, 2002).

3-3 Caractéristiques des boues selon la filière de traitement des eaux résiduaires urbaine (ERU) :

Le tableau n°3 ci-dessous illustre les caractéristiques des boues générées par la filière de traitement des eaux résiduaires urbaine (ERU).

Tableau n°3 : Caractéristiques essentielles de boues pouvant être rencontrés en épuration urbaine (Franck, 2002).

Composants	Décantation primaire	Traitement biologique	Aération Prolongée	Lagunage	Chimique
Matières organiques%	55-65	70-80	60-75	45-60	35-55
N total% MS	2.3-3	4-6	4-5	2-3	1.5
P% MS	1-1.5	2.5-3	2-2.5	1.5-2.5	1.5-3
K% MS	0.2-0.3	0.2-0.3	0.2-0.3	0.2-0.3	0.1-0.2
C% MS	33-40	38-50	33-40	25-35	20-30
Ca% MS	5-15	5-15	5-15	5-15	5-30
Mg% MS	0.4-0.8	0.4-0.8	0.4-0.8	0.4-0.8	1.7-4.5
Fe% MS	1-3	1-3	1-3	1-3	3-15
Al% MS	0.1-0.3	0.1-0.3	0.1-0.3	0.1-0.3	0.1-15
Pouvoir Fermentescibles	++	++	+	-	(++)(-)
Contamination bactériologique	++	++	+	-	(++)(-)

++ : Croissant, + : moins croissant, - : décroissant

4. Le procédé d'épuration par boue activée :

Une station d'épuration comprend en général les étapes de traitement suivantes :

4-1- Prétraitement :

L'objectif principal de cette étape est de séparer de la phase liquide les matières solides grossières. Parmi les étapes de prétraitements on peut citer : le dégrillage, le dessablage, le déshuilage et le dégraissage (Henri et Graziella, 2004).

- **Dégrillage :**

Il a pour but d'éliminer toutes les impuretés qui pourraient, par obstruction, provoquer dans les pompes des difficultés de fonctionnement. Cette étape est très importante parce qu'elle permet de soumettre les eaux usées aux traitements ultérieurs sans trop de problèmes (Henri et Graziella, 2004).

- **Dessablage :**

Les dessableurs sont utilisés pour la sédimentation de particules minérales contenues dans les eaux usées et ayant une taille de 0,2 à 2 mm. Selon le principe de fonctionnement on distingue deux types de bassin de dessablage : les dessableurs longitudinaux et les dessableurs circulaires (Henri et Graziella, 2004).

- **Déshuilage et dégraissage :**

Des séparateurs d'huiles spéciaux ont été réalisés pour séparer l'huile minérale et les produits pétroliers provenant des eaux résiduaires des raffineries (Figure 3). La séparation des huiles se fait dans cette étape par flottation c'est pourquoi, il faut nettoyer aussi bien la surface que le fond du bassin. Pour le nettoyage des ponts racleurs et des racleurs à chaîne et à lames sont utilisés (Henri et Graziella, 2004).



Figure 3 : Un déshuileur utilisé dans l'épuration des eaux usées (Henri et Graziella, 2004).

4-2-Traitement primaire :

Dans l'épuration des eaux usées, le traitement primaire est une simple décantation qui permet d'éliminer la majeure partie des matières en suspension. Les bassins de traitement primaire sont souvent de forme conique mais il existe d'autres types de décanteurs. Cette étape permet d'éliminer 70% environ des matières minérales et organiques en suspension qui se déposent au fond du bassin où elles constituent les boues dites "primaires" (Henri et Graziella, 2004).

4-3-Traitement secondaire par boue activées :

L'eau est ensuite acheminée dans d'autres réservoirs où les particules solides se déposent à nouveau dans le fond, le traitement secondaire élimine 90 % des bactéries entériques, 80 à 99 % des entérovirus et des rotavirus, 90 % de *Giardia* et de *Cryptosporidium* (Asano, 1998).

En fait, les boues activées constituent l'étape de traitement secondaire dans les stations d'épuration, qui pour but d'éliminer la charge carbonée (figure3) (Guettier, 1994). C'est un procédé mettant en œuvre un réacteur aérobie à biomasse en suspension. Il fut mis au point à Manchester en 1914 par ARDEN et LOCKETT (Guettier, 1994). Selon le mécanisme simplifié suivant :



Il est évident que la connaissance et la modélisation des cinétiques biologiques mises en jeu sont essentiellement utilisées pour assurer une bonne gestion des installations. Elles permettent l'estimation des capacités d'élimination de la pollution, de la production de biomasse et la demande en oxygène (Chaisemartin ,2005).

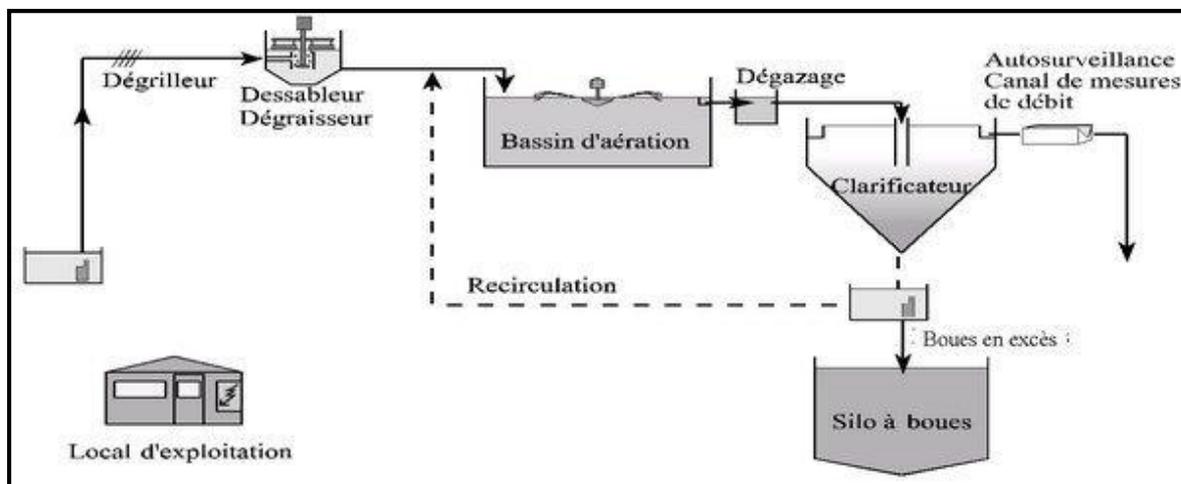


Figure 4 : Filière d'épuration des eaux usées par boues activées (Chaisemartin ,2005).

Le procédé d'épuration par boue activée consiste à mettre en contact dans un réacteur biologique aéré les eaux usées avec les micro-organismes en suspension. Le mélange eaux usées -flocs bactériens est appelé liqueur mixte. Après un temps de contact suffisant, cette liqueur est envoyée dans un décanteur, destiné à séparer l'eau épurée des boues. Ces dernières sont recyclées dans le bassin d'aération afin d'y maintenir une concentration élevée en biomasse (Dégrément, 1989).

Dans le bassin d'aération les micro-organismes s'agglomèrent sous forme de flocs et se développent en utilisant la pollution comme substrat nécessaire à la production d'énergie et à la synthèse de nouvelles cellules vivantes (Dégrément, 1989).

Les processus biologiques aérobies sont basés sur des transformations profondes des matières dissoutes, colloïdales, ou en suspension qui constituent le substrat. Ce procédé est actuellement le plus utilisé dans l'épuration des eaux usées (Chaisemartin ,2005).

Le processus de dégradation de la matière organique se déroule en trois étapes essentielles :

- ✓ adsorption des molécules sur les flocs biologique ;

- ✓ dégradation par oxydation des molécules, entraînant la synthèse de nouveaux microorganismes, donc accroissement de la biomasse ;
- ✓ oxydation et dégradation d'une partie des floccs biologique ou des matériaux de réserve des microorganismes des floccs si l'apport en matière organique est trop faible : phénomène de respiration endogène (Franck, 2002).

Les caractéristiques du procédé par boue activée sont les suivantes :

- ✓ Temps de séjour dans le bassin d'aération de 20 à 50 heures.
- ✓ Temps de séjour dans le clarificateur de 5 à 10 heures.
- ✓ Volume du bassin d'aération par équivalent habitant (Eqh) : 0,2 m³.
- ✓ Volume du clarificateur par Eqh : 0,05 à 0,1 m³.
- ✓ Recirculation des boues : 5 à 10% des boues sont extraites du circuit chaque jour, en fonction de leur concentration dans le bassin d'aération et de la quantité présente dans le bassin de décantation.
- ✓ Production de boue par équivalent habitant et par jour : 30 à 60 g de matière sèche par jour soit 1 à 3 litres de boues non épaissies.
- ✓ Dans le réacteur biologique la biomasse doit être approximativement égale à 10 fois la quantité de matière organique entrante chaque jour (Joseph et al, 1999).

4-4-Le traitement tertiaire :

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 (Franck, 2002). Il regroupe toutes les opérations physiques et chimiques qui complètent les traitements primaires et secondaires (Ouali, 2001).

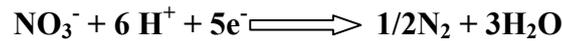
4 -4- 1- L'élimination de l'azote :

Les stations d'épuration n'éliminent qu'environ 20 % de l'azote présent dans les eaux usées, par les traitements de nitrification – dénitrification, qui consiste à éliminer les nitrates (Franck, 2002).

L'élimination de l'azote se fait par la transformation des nitrates en gaz inerte. Le processus peut s'opérer de façon naturelle par l'intermédiaire d'organisme vivant, des bactéries qui ont besoin d'oxygène pour leur propre respiration selon l'équation :



La réaction globale de la dénitrification est la suivante (Chaisemartin, 2005).



4-4-2 - L'élimination du phosphore :

L'élimination du phosphore ou "déphosphatation", peut être réalisée par des voies physico-chimiques ou biologiques. En ce qui concerne les traitements physico-chimiques, l'addition de réactifs, comme des sels de fer ou d'aluminium, permet d'obtenir une précipitation de phosphates insolubles et leur élimination par décantation. Ces techniques, les plus utilisées actuellement, éliminent entre 80 % et 90 % du phosphore, mais engendrent une importante production de boues (Prescott et al, 2007).

4-4-3 - La désinfection :

Un abaissement de la teneur des germes est, parfois exigé pour les rejets dans des zones spécifiques (zones de baignade, zones de conchylicoles) (Franck, 2002) ou dans le cadre d'une réutilisation. Il est réalisé par des traitements de désinfection chimique :

- ✓ **Le chlore** : est un oxydant puissant qui réagit à la fois avec des molécules réduites et organiques, et avec les micro-organismes (Baumont et al, 2005). Les composés utilisés dans le traitement des eaux usées sont : le chlore gazeux (Cl_2), l'hypochlorite de sodium (NaClO) appelé communément "eau de Javel", l'hypochlorite de calcium ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$), le chlore de chaux ($\text{CaCl}_2 \cdot \text{OCl}_2$) et le chlorite de sodium (NaClO_2) (Ouali, 2001).
- ✓ **L'ozone (O_3)** : est un oxydant puissant. Il permet l'élimination des bactéries, des virus et des protozoaires. C'est le seul procédé vraiment efficace contre les virus (Lazarova, 2003).

4-5-Procédés de traitement des boues en excès :

L'épuration des eaux résiduaires urbaines aboutit à la production régulière de sous produits constitués par les boues en provenance des décanteurs primaires et /ou secondaires, soit en moyenne 40 à 50g de matière sèche par jour et par habitant (Franck, 2002).

Ces boues, avant leur élimination, subissent un traitement adapté à leur nature ainsi qu'à leur destination, afin :

- ✓ d'en réduire le volume, en éliminant l'eau (les boues sont, en effet, extraites liquides du système de traitement). Ceci est réalisé par un procédé d'épaississement qui est une concentration de la boue par filtre presse ou centrifugation (Franck, 2002).
- ✓ d'en réduire le pouvoir fermentescible par stabilisation en diminuant le taux de matière organique qui peuvent fermenter dans le milieu naturel sous l'action des microorganismes.

La stabilisation peut être réalisée de manière biologique grâce aux bactéries contenues dans les boues en aérobose (stabilisation aérobie par aération prolongée des boues) ou en anaérobose (digestion anaérobie des boues avec production de biogaz). Elle peut être également réalisée chimiquement par ajout de chaux qui entraîne une augmentation du pH (jusqu'à pH11) empêchant tout développement bactérien (Franck, 2002).

Chapitre 3 :

la composition microbiologique de la boue activée

La faune et la flore bactérienne, appelées encore biomasse, représentent l'ensemble des êtres vivants, animaux et végétaux, qui sont présents dans le milieu considéré. Les bactéries sont les actrices principales du traitement mais les autres formes biologiques gravitant autour d'elles (protozoaires, métazoaires,...) sont indispensables au bon équilibre de l'écosystème. Les espèces varient suivant le type de station de traitement et sont caractéristiques du fonctionnement d'une station (Pujol *et al.*, 1990 ; Canler *et al.*, 1999).

1. La microfaune :

Elle représente une quantité de cellules de l'ordre de 10^5 à 10^7 individus par litre de boues activées. Cette microfaune joue un rôle de prédateur des bactéries isolées et des bactéries mortes et ainsi participe à la clarification des effluents (Canler *et al.*, 1999).

Selon l'organisation cellulaire des microorganismes, on distingue deux familles principales (Franck, 2002).

- ✓ Les protozoaires ;
- ✓ Les métazoaires ;

1-1-Embranchement des protozoaires :

Ce sont des organismes eucaryotes, unicellulaires, mobiles et de taille pouvant aller de 1 à 500 μm (Figure5). Ils se nourrissent essentiellement de bactéries (Gerardi *et al.*, 1990) et de molécules organiques dissoutes. Le rôle principal de ces protozoaires est avant tout la clarification de l'effluent par prédation des bactéries libres. Les protozoaires sont de très bons indicateurs du fonctionnement des stations d'épuration. En effet cette microfaune est très sensible aux modifications environnementales : substrats, oxygène dissous, toxiques... (Degrémont, 1989).



Figure 5 : Protozoaire (site 1).

La prédation peut être effectuée par broutage des bactéries à la surface des floccs par des protozoaires rampants. De plus, certains auteurs notent que le rôle bactériophage au niveau des floccs permet de maintenir des populations bactériennes jeunes pouvant assimiler plus facilement la matière organique (Franck, 2002).

Il existe un grand nombre d'espèces de protozoaires fixés ou mobiles au niveau des floccs. D'après Madoni et al (1996), ce sont en général des ciliés (*Vorticelles, Epistylis...*) de l'ordre de 10^6 individus /L.

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).

1-1-1-Les flagellés :

Leur identification est difficile compte tenu de leur taille souvent inférieure à 20 μm (Figure 6) (à l'exception des flagellés coloniaux et de quelques grandes espèces dont les Euglénidés). 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).

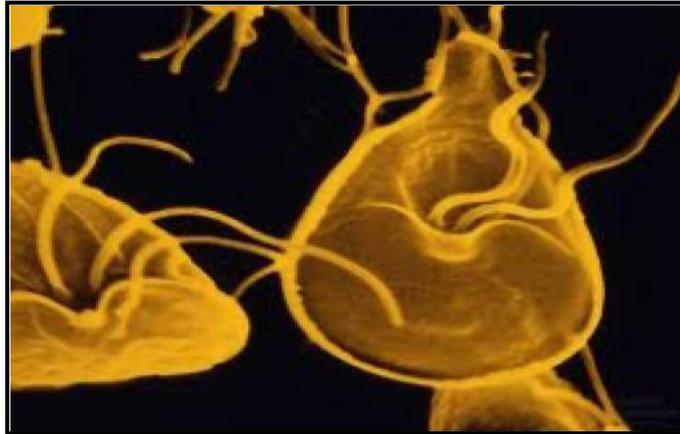


Figure 6 : *Diplomondida* X1000 (Site2).

❖ Sous embranchement des mastigophorea :

Le développement des petits flagellés (<20µm) s'effectue généralement pendant la première phase de colonisation de la boue activée par les protozoaires (Canler et *al.*, 2014). Leur présence correspond le plus souvent à :

- ✓ des boues jeunes (peu de floes), entraînant des temps de séjour courts ;
- ✓ un à –coup de charge lors de la présence d'une bonne floculation (floc important) ;
- ✓ un manque de fourniture d'oxygène (Canler et *al.*, 2014).

Certains flagellés sont suffisamment résistants pour survivre à des conditions difficiles telles que la présence de temps d'anoxie ou d'anaérobiose longs voire celle de toxique. Leur population augmente lors de perturbation brusque du système (baisse de température, augmentation de la charge ...). Lorsque ils sont dominants, les performances de l'installation sont faibles signe d'une très forte charge et, pour certains individus, d'un milieu faiblement aéré, d'apport de produits fermentés, d'effluent septique ou de la présence de dépôts.

Des population plus spécifique donnent d'autre indication sur la nature de la boue activée, la qualité des effluent à traiter et l'eau de sortie (Canler et *al.*, 2014).

1-1-2-Sous embranchement des sarcodines :

Ce sous-embranchement est divisé en deux classes :

- ✓ Les actinopodes, indicateur de faible charge, rarement observés et très peu d'espèce susceptibles d'être présentes en boue activée (Figure 7).

- ✓ Les rhizopodes assez bien représentés et dont la présence est plus souvent liée à la qualité des effluent plutôt qu'au domaine de charge ou au degré d'aération.

Dans la classe des rhizopodes deux sous –classes très distinctes cohabitent : les amibes et les thécambébiens (Canler et *al.* , 2014).

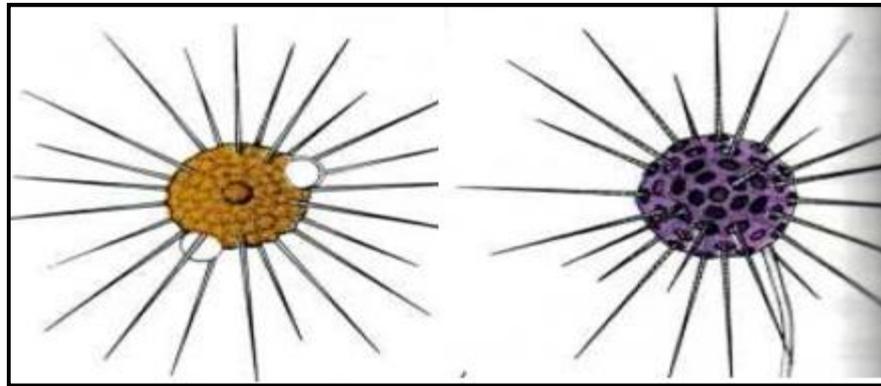


Figure 7 : Les actinopodes (gauche : *Actinophrys* ; droite : *Clathrulina*) (Site3).

➤ **Les amibes :**

Elles sont souvent observées pour un large champ de condition, mais rarement vues en grand nombre dans des installations à faible charge et d'un âge de boue élevé (Figure 8). Leur présence dans cette situation est alors liée à une phase transitoire ou un effluent particulier (effluent industriels, laveries,...), les petites amibes ont une signification proche des petites flagellés .Les grandes amibes sont bien corrélées à un traitement de bonne qualité (Canler et *al.* , 2014).



Figure 8 : Amoeba (Site4).

➤ **Les thécamébiens :**

Leur présence est souvent liée à la stabilité du système dans le domaine de la très faible charge (âge de boue élevé donc boues minéralisées), entraînant une bonne qualité des eaux de sortie (Figure 9) (Canler et *al.*, 2014).

Une concentration très forte est le signe d'une qualité de traitement remarquable, accompagnée d'une nitrification stable mais pas nécessairement poussée. Leur dominance, plus particulièrement pour les petites espèces, peut aussi être indicateur d'effluents particuliers (Canler et *al.*, 2014).



Figure 9 : Thécamébiens (*Arcella*) X400 (site5).

1-1-3-Sous embranchement des ciliés :

Les ciliés forment le groupe de protozoaire le plus représenté dans les boues activées (Figure 10). Ils sont considérés comme étant les organismes les plus sensibles. Leur population dépend de la qualité de l'effluent rejeté et des caractéristiques de fonctionnement de l'installation. Ils participent à la purification de l'eau interstitielle d'où l'étroite relation entre leur densité et de qualité de l'eau de sortie (Canler et *al.*, 2014).



Figure 10 : Protozoaire cilié (Cavalla, 2014).

L'équilibre entre les quatre sous- classe est variable suivant le domaine de charge des installation au fonctionnement stable, c'est au niveau de la faible et moyenne charge que l'on retrouve la plus grande quantité des ciliés dans des proportion équivalente pour les holotriches, les péritriches et les hypotriches (Canler et *al.* , 2014).

❖ **Sous classe des holotriches :**

La ciliature est uniforme et entoure le corps cellulaire. Leur taille varie de 30 à 130 μm . Ils se déplacent rapidement, d'où le nom de forme nageuse des Ciliés (Figure 11) (Franck, 2002).

En grande quantité, ils sont 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 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).

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 (Canler et *al.* , 2014).



Figure 11 : *Paramecium* sp X1000 (Navarro, 2003).

❖ **Sous classe des péritriches :**

Les cils sont répartis autour de l'entonnoir buccal ou leur mouvement rotatoire permet de créer un courant liquidien vers l'intérieur de l'entonnoir. Ils sont le plus souvent fixés sur le floc par un pédoncule contractile (Figure 12) (forme fixée) (Franck, 2002).

Ils se développent pour tous les domaines de charge. Leur dominance est plus nette en faible charge ou à la suite d'un apport élevé de matière organique sur des installations de type aération prolongée. Ce domaine de charge peut être modifié par des pertes de boues ou lors d'une extraction trop massive (Canler et *al.* , 2014).



Figure 12 : *Vorticella* sp X1000 (Navarro, 2003).

❖ Sous classe des spirotriches avec deux ordres :

Les cils sont situés sur une seule face du corps cellulaire. Ils se déplacent à la surface du floc en rampant grâce à ces cils (ou cire) et en broutant les bactéries présentes à la surface du floc (forme rampante) (Franck, 2002).

➤ Les hypotriches :

Leur nombre important est généralement le signe d'une bonne épuration (Figure 13). Leur développement est inversement proportionnel à la charge à traiter (Canler et *al.*, 2014).

Ces individus dits « brouteurs », apparaissent lorsque le floc est bien formé et se développent uniquement en période de stabilité. Certains peuvent être de bons indicateurs du traitement et sont généralement présents sur des installations nitrifiantes, aux faibles charges massiques (âge de boue élevé). Les grands hypotriches (> à 100 µm) sont liés le plus souvent à une bonne qualité de traitement (Canler et *al.*, 2014).

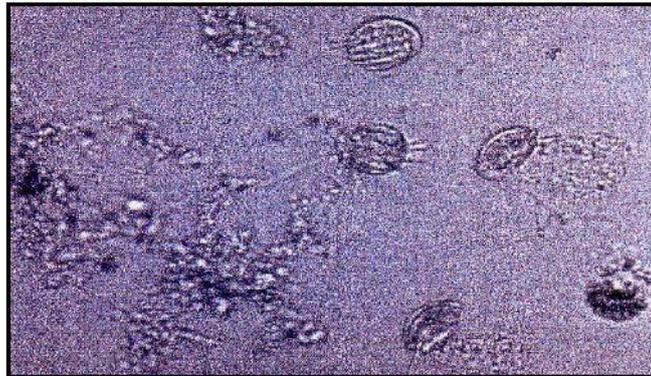


Figure 13 : Aspidisca (Bioma-co ,2006).

➤ Les hétérotriches :

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

❖ Sous classe des suctoriens :

Ces protozoaires possèdent une ciliature uniquement à l'état embryonnaire.

Le plus grand nombre est fixé au floc par un pédoncule (à l'exception du genre *Sphaerophria*) et leur corps est muni de tentacules pour piquer et sucer d'autres protozoaires.

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).

1-2-Embranchement des métazoaires :

Les métazoaires sont des organismes pluricellulaires dont la taille peut aller de 100 µm à 1 mm. Leur organisation cellulaire est plus complexe que celle des microorganismes unicellulaires et leur cycle de croissance est très lent (Canler et *al.*, 1999).

Ils sont trouvés essentiellement dans des installations avec des âges de boues élevés (stations à faible charge ou aération prolongée) (Canler et *al.*, 1999).

Parmi les principaux métazoaires présents dans les boues activées des stations d'épuration, on retrouve essentiellement:

1-2-1-Sous embranchement des rotifères :

Ces métazoaires sont segmentés, très déformables, avec un pied plus long que le reste du corps lorsque l'animale est déployé. Sa longueur déployée est d'environ 100 à 500µm (Figure 14) (Franck, 2002).

Ils représentent le plus grand groupe de métazoaires rencontrés dans les boues activées. Leur rôle dans la purification de l'eau ressemble à celui des ciliés et leur présence est généralement plus conditionnée par la qualité de l'effluent que par les paramètres de fonctionnement de l'installation à l'exception de l'âge de la culture nécessaire à sa multiplication (Canler et *al.*, 2014).

En effet, du fait de leur croissance, ils sont indicateurs d'un fonctionnement stable sur une période relativement longue. C'est généralement le type de nourriture disponible qui conditionne la prédominance d'une espèce vis-à-vis d'une autre (Canler et *al.*, 2014).

Les rotifères ont une taille suffisante pour casser et fragmenter les floccs et produisent ainsi de nouvelles surfaces d'adsorption autour desquelles peuvent se fixer de nouvelles particules augmentant ainsi la floculation. Certains sont indicateurs d'une bonne oxygénation et d'une épuration poussée pouvant aller jusqu'à 95-99% d'abattement de la charge polluante (Canler et *al.*, 2014).



Figure 14 : Rotifère (site5).

1-2-2-Sous embranchement des nématodes :

Ce sont des métazoaires non segmentés dont le corps ne présente pas de poils et dont la forme et la souplesse de ver sont caractéristiques. Leur longueur est le plus souvent supérieure à 150 μ m (Figure 15) (Franck, 2002).

Les nématodes sont présents en faible quantité dans tous les types d'installation. Ils peuvent apparaître pour tous les degrés de charge (principalement les moyennes et faibles charges). En majeure partie, ils se nourrissent de bactéries, les autres étant prédateurs de rotifères ou d'autres nématodes. Assez résistants à la sous-aération du milieu, ils existent dans les boues d'aération prolongée. Ils sont plus fréquents sur les cultures fixées et remanient remarquablement les floccs. Leur présence n'est pas nécessairement défavorable au processus épuratoire mais souvent indicatrice de dépôts significatifs dans l'installation (Canler et *al.*, 2014).



Figure 15 : Nématode X100 (Navarro, 2003).

1-2-3-Sous embranchement des gastrotriches :

Les gastrotriches sont des métazoaires de forme cylindrique, de dimension comprise entre 100 et 300 μm avec la partie terminale dichotome (Figure 16) (Madoni et *al.*, 1996).

Les gastrotriches sont rarement observées dans les boues activées et seulement pour de très faibles charges. Ils habitent usuellement les fonds vaseux et les détritux stabilisés des eaux naturelles (Canler et *al.* , 2014).



Figure 16 : Une gastrotriche X400 (contraste de phase) (Cavalla, 2014).

1-2-4-Sous embranchement des oligochètes :

L'oligochète est un vermiforme allongé, doté de soies dorsales, qui peut mesurer de 0.5 à 4 mm (Figure 17) (Madoni et *al.*, 1996).

Le genre *Aelosoma* apparaît uniquement pour des boues d'âge élevé et de très faibles charges donc pour un niveau de rejet correct. C'est une faune rare, habitant les boues stabilisées avec présence de nitrates (Canler et al., 2014).



Figure 17 : Vers oligochètes X100 (Cavalla, 2014).

1-2-5-Sous embranchements 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-NH₄⁺ (nitrification très importante) (Figure 18) (Canler et al., 2014).

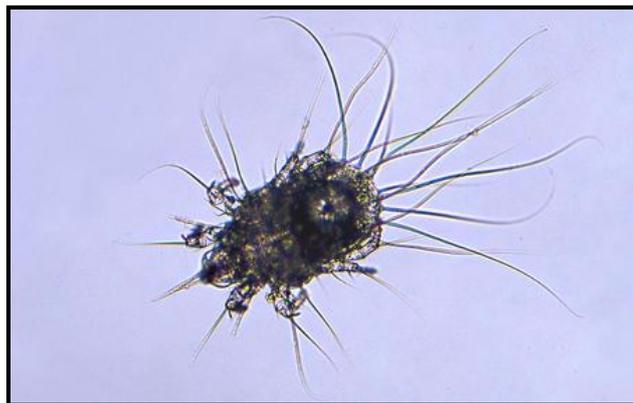


Figure 18 : Acariens (site 6).

2. La microflore des boues activées :

Elle correspond à l'ensemble des bactéries présentes dans la boue activée. Les concentrations en microflore sont très élevées, de l'ordre de 10^{11} à 10^{12} bactéries par litre de boues activées. Malgré la diversité bactériennes susceptibles d'y être ensemencées, provenant des matières fécales mais aussi des eaux naturelles ou de l'aire, les boues activées se révèlent être un milieu très sélectif et seulement une dizaine de souche bactériennes sont présentes à un instant donné au niveau d'une installation des études ont montré que les bactéries intestinales se développent peu et survivent difficilement dans ce milieu (Franck, 2002).

Ces bactéries représentent le maillon essentiel du traitement car elles vont consommer les molécules organiques des eaux usées et permettre ainsi leur épuration. Grâce à cette activité, elles se multiplient et sont le point de départ d'une chaîne trophique d'où le terme de microflore est car la flore est l'élément de départ des écosystèmes naturels (Franck, 2002).

Ces bactéries peuvent se présenter sous différentes formes (Figure 19):

- ✓ Bactéries libres, en général peu abondantes du fait de la prédation par d'autre microorganisme ;
- ✓ Bactéries filamenteuses, présentes normalement en petite quantité mais qui peuvent proliférer dans certaines condition et poser des problèmes de fonctionnement ;
- ✓ Bactéries floculées qui s'agrègent pour donner des floccs qui décantent dans le clarificateur les bactéries floculées sont les plus intéressantes pour le procédé d'épuration car elles permettent une bonne séparation entre la biomasse épuratrice et l'eau épurée (Franck, 2002).

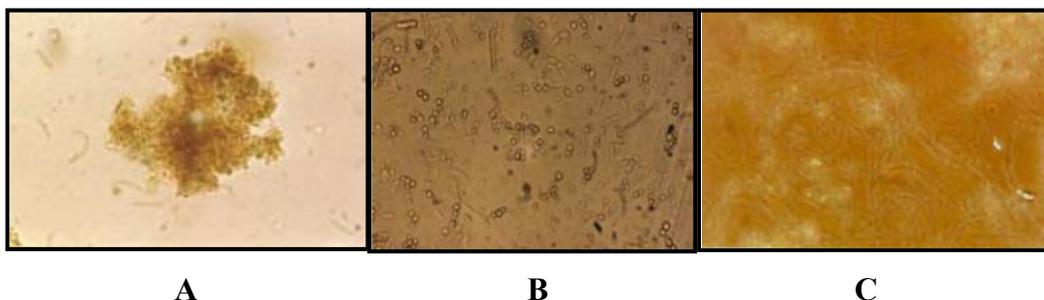


Figure 19 : A : Bactéries floculées ; B : Bactéries libres ; C : Bactéries filamenteuses
(Canler, 2005).

En fait, le floc est une structure réunissant des bactéries vivantes, des bactéries mortes, des matières organiques et minérales, au sein d'un mucilage complexe sous – produits du métabolisme bactérien. Sa formation est un phénomène très compliqué résultant de l'interaction de nombreux paramètres biochimique et physico-chimique (Franck, 2002).

La floculation bactérienne est liée à la présence de polymères exocellulaire composés de polysides, de protéines, de lipides et d'acides nucléiques, en proportion variable selon l'espèce bactérienne considérées, l'âge de la culture bactérienne mais aussi la méthode analytique employée (Franck, 2002).

Cette floculation bactérienne est favorisée par différents phénomènes se déroulant dans la boue activée :

- Rapport entre la concentration en substrats et la quantité 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 floccs bactériens qui sédimentent et de les réintroduire dans le réacteur biologique (Franck, 2002).

On retrouve des bactéries appartenant aux familles taxonomiques les plus classiques, avec majoritairement des bacilles Gram⁻ asporulants (Frank, 2002).

Franck en 2002, a donné la répartition suivante :

- ✓ Bacilles Gram⁻ : 57%, dont 54% de *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Flavobacterium* ;
- ✓ Cocci Gram⁺ : 23%, dont 82% de *Micrococcus* ;
- ✓ Bacilles Gram⁺ : 20%, dont 57% de *kurthia*.

La répartition interspécifique est très variable selon la boue activée, son âge, la composition biochimique et physicochimique de l'effluent. Des installations industrielles, traitant des eaux plus typées, peuvent présenter des espèces plus rares en épuration urbaine ; par exemple, les effluents de laiterie riches en glucide (lactose) entraînent un développement important de corynébactéries du genre *Arthrobacter* Gram⁺ (Franck, 2002).

Chapitre 4: présentation de la station d'épuration de sidi Merouane

Les boues activées constituent une des principaux processus de traitement des eaux usées présente dans toutes les stations d'épurations, parmi les quelles on a la STEP de Sidi Merouane qui destinée à traiter les eaux domestiques avant le rejet dans le barrage de Beni Haroun.

1. Localisation géographique :

La station d'épuration des eaux usées de Sidi Merouane est située à 12 km au Nord-est de la wilaya de Mila, dans la commune de Sidi Merouane, côté Sud de Barrage de Beni Haroun. Elle s'étend sur une superficie de 16 ha. Celle ci reçoit les eaux usées de Mila, Grarem, Ferdjioua, Sidi-Merouane, Ras-El-Bir, Annouche Ali, Sibari 1 et Sibari 2. Les eaux traitées sont déversée dans la cuvette du barrage, puis acheminées vers la station de traitement des eaux potables. Enfin distribués vers les agglomérations populaires (Figure 20) (STEP de Sidi Merouane).



Figure 20 : Localisation de la station d'épuration de Sidi Merouane (STEP de Sidi Merouane).

2. Capacité du traitement des eaux usées :

La station d'épuration de Sidi Merouane est la deuxième station de la wilaya, après celle d'oued Athmania. Elle a pour tâche le traitement de plus de 60000 m³ d'eaux usées.

C'est une station d'épuration à boues activées à faible charge, prévue pour 20.550 m³ /jour, ou 137.711 équivalent d'habitant. Elle a commencé de fonctionner le 20/07/2009 (STEP de Sidi Merouane).

3. Qualité des eaux usées brutes :

Les eaux usées se classent généralement en deux catégories : les eaux d'égouts et les eaux industrielles. La station d'épuration de Sidi Merouane traite les eaux usées d'égouts, qui proviennent de diverses origines : ce sont aussi bien les eaux usées domestiques que résiduaires (STEP de Sidi Merouane).

4. Le rôle de la station:

Le rôle de la station est plus important car elle est destinée à protéger le barrage de "Beni Haroun" contre les différents effluents provenant des localités limitrophes (STEP de Sidi Merouane).

En effet, avant leur rejet dans le barrage, les eaux usées subissent des traitements de dépollution au niveau de cette station, puis les eaux traitées sont rejetés dans la cuvette du barrage, pour ensuite être acheminées vers la station de Ain-tine pour être épurées en eau potable utilisable par les populations de Mila, Grarem, Ferdjioua, Sidi Merouane , ainsi que des villes et villages du Nord de la wilaya, via des réseaux de canalisation. Cependant, une partie des eaux traitées au niveau de la station est utilisée pour l'irrigation agricole des cultures fruitières ou maraichères alors que les boues sont séchées et utilisées comme amendement ou engrais pour les sols afin d'augmenter les rendements agricoles (STEP de Sidi Merouane).

5. Filière de traitement :

La filière d'épuration des eaux usées utilisée dans la station est représentée dans la figure ci-dessous:

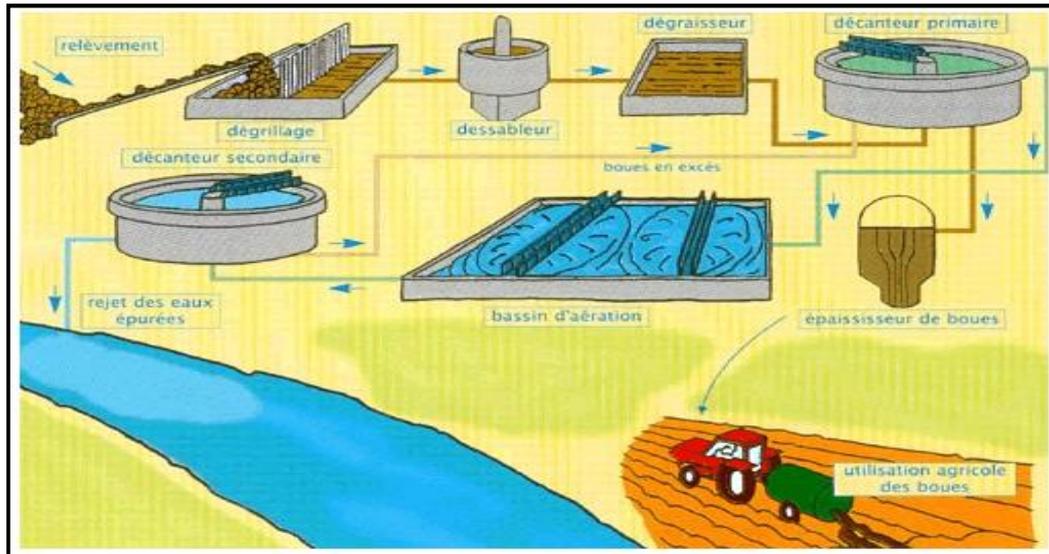


Figure 21 : Schéma général du principe de fonctionnement des traitements d'épurations physico-chimiques (site7).

5-1-Traitement physique :

5-1-1-Prétraitements :

En tête de cette station d'épuration, ces procédés permettent de retenir les matières volumineuses grâce à des grilles (dégrillage). Il s'agit des sables (dessablage) et des liquides moins denses que l'eau (désuilage) (Desjardins, 1997). Donc ce traitement comporte une succession d'opérations suivantes :

❖ Dégrillage :

Le dégrillage permet de retirer de l'eau les déchets insolubles tels que les branches, les plastiques, serviettes hygiéniques, etc. Ces déchets ne peuvent pas être éliminés par un traitement biologique ou physico-chimique, il faut donc les éliminer mécaniquement. Pour ce faire, l'eau usée passe à travers une ou plusieurs grilles (automatique ou manuel) pour éviter le colmatage, et aussi pour éviter le dysfonctionnement de la pompe (Legube, 1996).

- **Dégrillage grossier :**

Les dégrilleurs grossiers, l'un à fonctionnement automatique et l'autre manuel, sont placés à l'entrée du poste de relèvement des eaux brutes (figure 22). Ils permettent de débarrasser les effluents des déchets de taille supérieure à 40cm (Legube, 1996).



Figure 22 : Dégrillage grossier : Automatique (a) et Manuelle (b) (STEP Sidi Merouane).

- **Dégrillage fin:**

Il protège les équipements de la station en éliminant les éléments de taille supérieure à 15 cm (Figure 23). Les dégrilleurs fins, deux à fonctionnement automatique et un manuel, sont placés en parallèle (Legube, 1996).



Figure 23 : Dégrillage fin : Automatique (a) et Manuelle (b) (STEP Sidi Merouane).

❖ Dessablage – Déshuilage :

L'objectif essentiel du dessablage est de retenir les particules sédimentables afin de protéger les installations bien que l'objectif du déshuilage est de retenir les graisses et les huiles. Ces deux étapes passent dans le même ouvrage dont le sable se dépose et les huiles flottent. L'injection de fine bulle d'air dans le bassin permet de faire remonter les huiles en surface où elles sont raclées selon le principe de l'écumage (Bonnin, 1977) (Figure 24). Le sable est récupéré par pompage. Le dessablage se fait trois fois par jour et le déshuilage est continu.



Figure 24 : Dessablage – Déshuilage (STEP Sidi Merouane).

5-1-2-Traitement primaire :

Ce traitement permet l'enlèvement des solides organiques et inorganiques sédimentables ainsi que les matériaux flottants (FAO, 2003).

À la fin de ce traitement, la décantation de l'eau permet de supprimer environ 60 % des matières en suspension, environ 30 % de la demande biologique en oxygène (DBO) et 30% de la demande chimique en oxygène (DCO). Cette part de DBO5 supprimée était induite par les matières en suspension, les matières supprimées forment au fond du décanteur un lit de boues appelé boues primaires (Bontaux, 1994).

5-2-Traitement biologique :

Le traitement biologique est un traitement par boues activées à faible charge travaillant en nitrification – dénitrification, associé à une déphosphoration biologique. Ce traitement est constitué par deux bassins parallèles et isolables l'une de l'autre.

Il y a une aération importante pour permettre l'activité des bactéries et la dégradation de ces matières, suivie d'une décantation à partir de laquelle les boues riches en bactéries vers le bassin d'aération sont renvoyés (Figure 25) (STEP de Sidi Merouane).



Figure 25 : Bassin d'aération (STEP de Sidi Merouane).

5-3-Traitement physico- chimique :

Ce traitement s'effectue par les installations suivantes :

❖ Le dégazeur:

La station est munie d'un dégazeur en béton armé de forme circulaire et d'une capacité de 45m^3 . Ce dernier recueille les flottants à la sortie des bassins d'aération pour qu'ils soient raclés et envoyés vers la bache en graisse du prétraitement (Figure 26).

A chaque épuration il y'a une formation de quelques types de gaz dont le rôle est d'éliminer le maximum des résidus même les gaz purs.

Ainsi le dégazeur assure le dégazage et recueille les flottants de la liqueur mixte issue et parmi ces gazes il y'a le méthane et l'azote. Une goulotte placée sous la surface de dégazage permet la récupération des flottants lors du passage du racleur circulaire placés en surface le l'ouvrage (STEP de Sidi Merouane).



Figure 26 : Dégazeur (STEP Sidi Merouane).

❖ **Le clarificateur :**

Cette phase permet de séparer, par décantation, les boues ou résidus secondaires issus de la dégradation des matières organiques. Cette décantation est opérée dans des bassins spéciaux appelés clarificateurs. L'eau entre très lentement dans le bassin circulaire de clarification (33 m de diamètre et 3,5 m de profondeur) par le bas d'une tour central (Figure 27) (STEP de Sidi Merouane).

- ✓ Les boues décantées au fond du bassin sont pompées par des buses d'aspiration, situées sur le pont tournant, puis elles sont renvoyées en plus grande partie vers le bassin d'aération. La partie excédentaire étant dirigée vers un circuit ou une étape de traitement spécifique.
- ✓ Les eaux débarrassées de 80 à 85% de ses impuretés sont rejetées directement vers le barrage de " Beni Haroun" (STEP de Sidi Merouane).



Figure 27 : Le clarificateur (STEP Sidi Merouane).

5-4-Traitement des boues :

Une partie des boues décantées sont renvoyées vers le bassin d'aération afin de maintenir un équilibre constant entre la quantité de pollution à traité et la masse de bactérie épuratrice (STEP de Sidi Merouane).

L'autre partie des boues est envoyée vers l'unité à boues afin de réduire leur volume par épaissement, ce qui permet de concentrer au maximum les boues. Ces dernières sont envoyées vers le lit de séchage où elles sont déshydratées et mélangés avec un polymère qui sert à séparer la boue de l'eau. La boue déshydratée passe sur une table d'égouttage pour enlever l'eau qui reste, puis stockée pendant une durée de 6 à 9 mois pour la rendre plus solide afin de l'utiliser en agriculture (STEP de Sidi Marouane).

6. Laboratoire :

Au niveau de cette station on trouve un laboratoire où sont réalisées des analyses (DBO₅, DCO, NT, PT, NH₄, NO₃ et NO₂) qui permettent de contrôler la qualité des eaux à l'entrée et à la sortie de la STEP pour cela les instruments utilisant sont :

- PH mètre : PH 510.
- Dessiccateur : Nalgene
- Centrifugeuse : Sigma 3-16
- Spectrophotomètre : SpectroDirect
- Étuve : Memmert
- Oxygénométrie : Con 6

- Four a moufle : Furnace 1400
- Balance : Kern
- Appareil filtration : FB70155
- Distillateur : DESA 0041 (STEP de Sidi Merouane).

Matériel et méthodes

L'objectif principal de ce travail est de faire la détermination de la composition de la microfaune de la boue activée de la station d'épuration de Sidi Marouane pendant une période de trois mois (février jusqu'à avril).

Notre étude comporte deux parties :

- ✓ Dans la première partie, nous nous intéresserons à identifier la microfaune (protozoaire et métazoaire) de la boue activée par l'observation microscopique en utilisant des méthodes classiques de coloration.
- ✓ Dans la deuxième partie nous faisons un comptage des protozoaires et métazoaires sous le microscope optique en utilisant la cellule de mallasses.

1. Prélèvement et transport des échantillons :

1-1-Prélèvement :

Les échantillons de boue doivent être prélevés dans des conditions d'asepsie dans le premier bassin biologique. Le prélèvement se fait dans des flacons en verre qui ont été stérilisés dans un autoclave à une température de 120°C pendant 15 min. Deux prélèvements sont effectués, l'un à partir de la zone aérobie, et l'autre à partir de la zone de contact où mélange de boue activé avec les eaux usées dans le même bassin biologique (Figure 28).



Figure 28 : La méthode de prélèvement (STEP de Sidi Merouane).

1-2-Transport :

Les échantillons sont ramenés dans les brefs délais au laboratoire. L'analyse doit être effectuée dans un délai maximal de 4 heures. Tout flacon d'échantillonnage doit être clairement identifié par une étiquette qui contient des informations suffisantes concernant : la nature de l'échantillon, le lieu de prélèvement et la date de prélèvement.

2. Observations macroscopique et microscopiques des boues :

2-1- Observations macroscopique :

L'examen macroscopique des boues est le premier examen effectué dans le laboratoire à l'aide d'une fiche préparé qui contient tous les informations nécessaires : sur l'échantillon avant et après la décantation (couleur, odeur, la quantité de boue, aspect du surnageant, les flottants et leur nature) ; sur le liquide interstitiel (bactéries libres, spirilles et floc) ; sur la présence ou l'absence des débris minéraux et/ou végétaux ; sur l'aspect et la taille de floc.

2-2- Observations microscopiques :

L'observation microscopique d'une boue activée est indispensable pour faciliter la compréhension de la fonction d'une STEP. L'observation microscopique se fait en plusieurs étapes :

❖ Observation sans coloration :

➤ Observation à l'état sec :

Cette préparation appelée « état sec » parce que les microorganismes sont fixés sur une lame, sous l'effet de la chaleur. Permet de déterminer différents paramètres morphologiques des bactéries filamenteuses et des floccs : nombre moyen et longueur des filaments, surface moyenne et « rugosité » des floccs (Da motta et *al.*, 2001).

15 µl de boues sont étalés sur une lame à l'aide d'une pipette pasteur, puis fixes par la chaleur douce d'un bec bunsen. La fixation à la chaleur douce permet d'immobiliser les microorganismes, et les tuer brutalement sans modifier leurs aspects morphologiques (Pandolfi, 2006).

L'observation microscopique est effectuée avec un microscope optique (OPTIKA), à un grossissement de X100.

➤ **Observation à l'état frais :**

C'est un examen microscopique qui permet d'apprécier la mobilité (ou immobilité) des microorganismes et leur morphologie (Aminetou et Aicha, 2008).

15 µl de boues sont placés sur une lame de verre et recouverts par une lamelle afin d'étaler la goutte. On observe à un grossissement X100 (Pandolfi, 2006).

❖ **Observation après coloration :**

L'examen après coloration permet d'observer des microorganismes tués fixés sur une lame et ayant subi l'action d'un ou plusieurs colorants (Aminetou et Aicha, 2008).

✓ **Coloration à l'encre de chine :**

Le noir de carbone, composant majoritaire de l'encre de Chine, pénètre à l'intérieur des floes si leur composition en EPS (exopolysaccharides) n'est pas trop élevée. En revanche les boues contenant de fortes concentrations en composés extracellulaires bloquent l'entrée des particules de carbone qui donne des zones non colorées (Canler, 2005).

Un mélange de 15 µl de boues et 5 µl d'encre de Chine sont étalés sur une lame, et recouverts par une lamelle et observés au grossissement de X40 (Pandolfi, 2006).

✓ **Coloration par vert de méthyle acétique :**

15 µl de boue sont étalés et fixés sur une lame, puis on applique une solution de vert de méthyle pendant 10 minutes. L'observation est effectuée à un grossissement de X40 (Perrier et *al.*, 1997).

✓ **Coloration à l'iodo iodure :**

L'iode ou lugol est un colorant utilisé comme un fixateur puisqu'il immobilise la cellule en provoquant la coagulation du cytoplasme et du noyau, et donne pour certains éléments la couleur jaune (Ali et *al.*, 2008).

La solution d'iodo iodure est appliquée pendant 10 minutes sur un échantillon de 15 μ l de boue étalé et fixé sur une lame (Perrier et *al.*, 1997). L'observation est effectuée à un grossissement de X 40.

✓ **Coloration par le rouge neutre :**

Le rouge neutre est un colorant vital puisque il ne détruit pas la cellule lors de pénétration (Ali et *al.*, 2008).

15 μ l de boue activée sont étalés et fixés sur une lame, puis on colore par le rouge neutre pendant 10 minutes, après rinçage l'observation se fait à un grossissement de X40 (Perrier et *al.*, 1997).

3. Le comptage de la microfaune :

Il existe différents modèles de cellule de numération sur le marché. A titre d'exemple nous retiendrons comme modèle la cellule de comptage malassez (Figure 29), formée d'un plan central quadrillé profond de 0.2 mm et composé de 100 rectangles longs de 0.25mm et larges de 0.2mm. Seulement 25 rectangles sont quadrillés en 20 pour constituer des piscines ou des zones de comptage d'une superficie de 0.05mm² et d'un volume de 0.01mm³. Le volume du plan central quadrillé est équivalent donc à 0.01mm³ x100 soit 1mm³(Guzlane et *al.*, 2010).

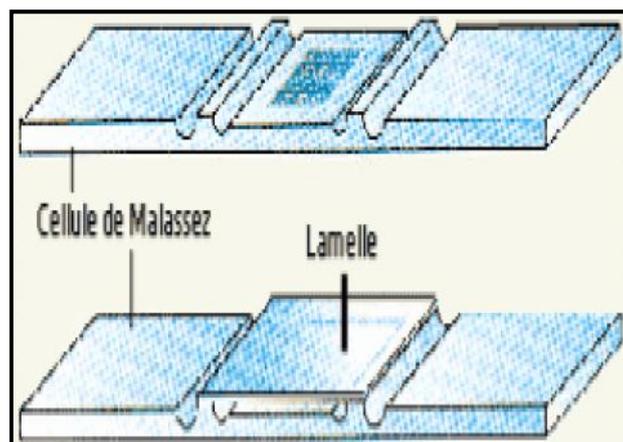


Figure 29 : La cellule de malassez (Guzlane et *al.*, 2010).

❖ La numération :

On vérifie que cellule et lamelle soient parfaitement propres et on pose la lame sur un plan parfaitement horizontal et ensuite une lamelle déposée sur la lame, en laissant une surface pour le dépôt de l'échantillon (Guzlane et *al.*, 2010).

Un certain volume de boue est prélevé à l'aide d'une pipette Pasteur. La pointe de la pipette est amenée au bord de la lamelle et on remplit l'espace compris entre la chambre et la lamelle sans que le volume de boue déborde (Guzlane et *al.*, 2010).

Après un temps suffisant permettant aux cellules de sédimenter on effectue la numération. On observe avec un faible grossissement, pour distinguer le quadrillage et les cellules, puis on passe au grossissement plus fort pour réaliser le comptage (Guzlane et *al.*, 2010).

Enfin on compte le nombre de cellule (protozoaire, métazoaire) localisées dans les rectangles des 2 diagonales et on fait la moyenne. Le comptage nécessite l'observation de six lames (Figure 30) (Guzlane et *al.*, 2010).

Selon l'équation suivante :

$$x = \frac{\text{nombre moyenne de cellule dans un rectangle} \times \text{facteur de dilution}}{10^{-5}}$$

Résultats et discussion

Une boue activée contient une microfaune prédatrice, constituée de protozoaires et de métazoaires, qui participent également à l'épuration des eaux. D'après notre résultat :

1. Examen macroscopique de la boue activé :

L'examen macroscopique des boues pendant trois mois donne les mêmes résultats (Figure 30), présente dans le tableau ci-dessous :

Tableau n°4 : fiche d'observation de la boue activée.

Prélèvement	Lieu : bassins1
	Date : 13/03 /2017
	Heur : 10 :35
Observation macroscopique	
Echantillons brute	Couleur : l'égerment marron foncée
	Odeur : de terre (humus)
Echantillons décanté	Quantité de boue : faible
	Aspect de surnageant : limpide
	Flottants : néant
	Nature des flottant : néant
	Comportement et aspect du floc pendant la décantation : floc duveteuse
Observation microscopique	
Liquide interstitiel	Bactérie libres : peu de bactérie
	Spirilles : néant
Débris minéraux et/ou végétaux	Nombreuse détritrus végétaux
Floc	Aspect : des grains de flocs assez foncée très effilés
	Taille : 50µm de long et 100µm de large.

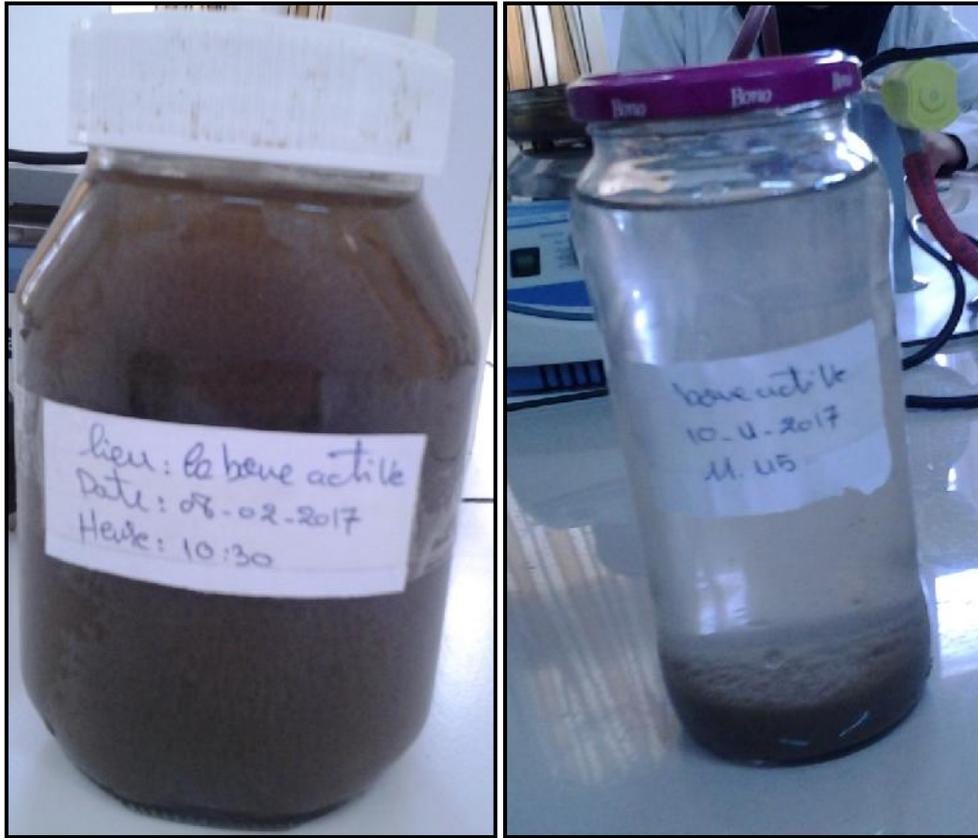


Figure 30 : Les échantillons de la boue activée (STEP de Sidi Merouane).

2. Examen microscopique de la boue activé :

L'examen microscopique des boues activées (STEP de Sidi Merouane) montre qu'il s'agit d'un milieu très diversifié, où se rencontrent des bactéries, des protozoaires, des métazoaires et des algues...ect. Notre étude s'intéresse plus particulièrement à l'identification des protozoaires et métazoaires rencontrées dans la boue activée pendant trois mois (février jusqu'à avril).

Dans les figures ci-dessous nous avons présenté toute les observations effectuée sur les échantillons de la boue activée:

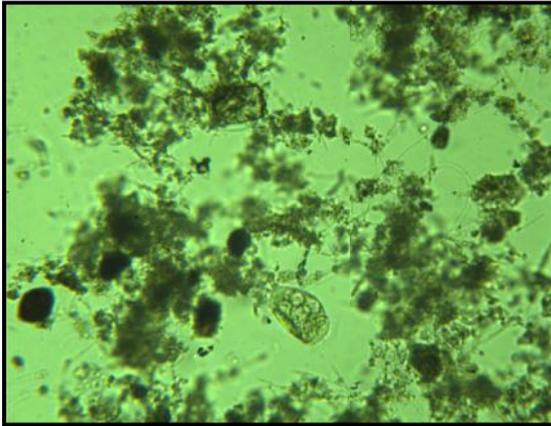


Figure 31 : Observation à état frais X400

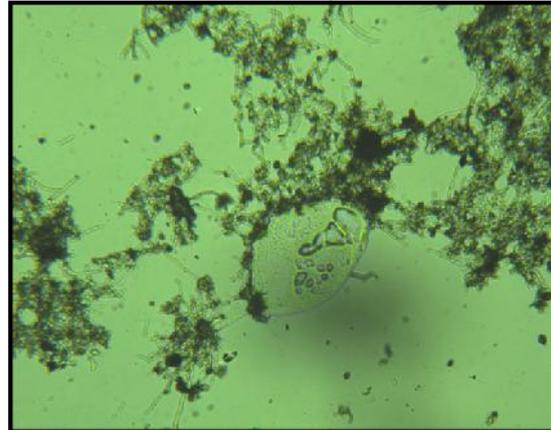


Figure 32 : Observation à état sec X400.

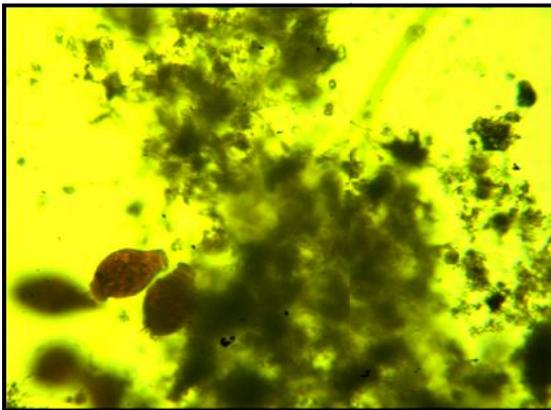


Figure 33: Coloration par l'iode iodure X400.

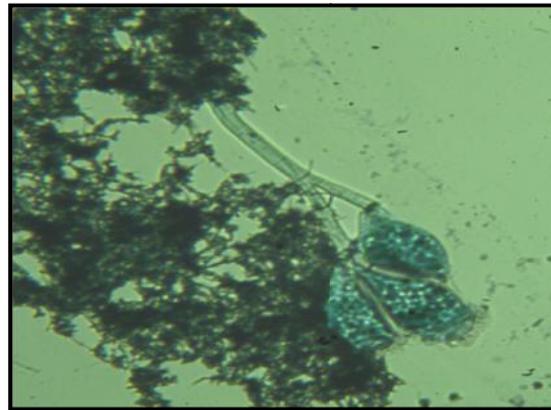


Figure 34 : Coloration par vert de méthyle X400.

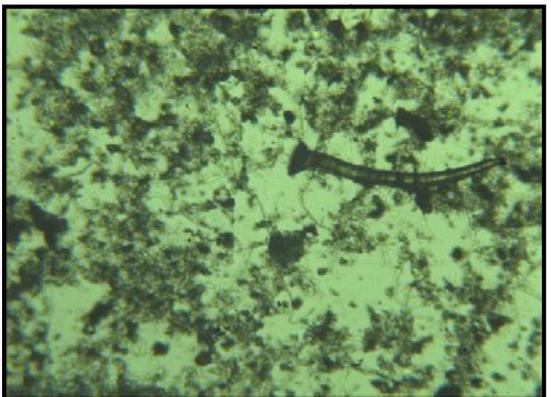


Figure 35 : Coloration par l'encre de chine X400.

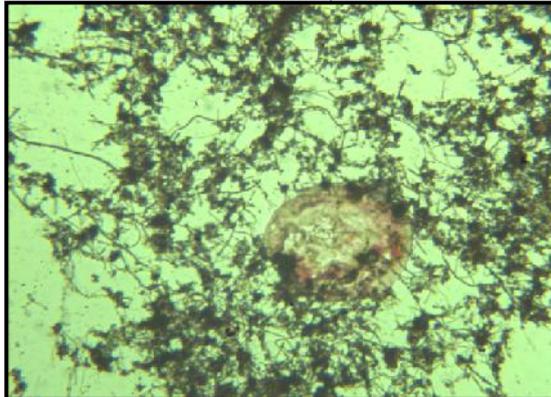


Figure 36 : Coloration par le rouge neutre X400.

2-1-Identification :

Dans ce travail l'identification est basée sur :

- La comparaison des photographies des microorganismes qui se trouvent dans la boue activée de la STEP de Sidi Merouane et d'autres photographies obtenues dans d'autres études réalisées sur d'autres stations d'épuration à boue activée ;
- Les clés d'identification montrés par canler et *al* (2014) ;(protozoaire flagellé (clé B), sarcodine (clé C), ciliés (clé D, E, F, G, H) et métazoaire (clé I).

Les principaux protozoaires trouvés dans la boue activée pendant les trois mois d'étude sont représentés dans les figures ci-dessous :

2-1-1- Les flagellés :

Les figures 37 jusqu'à 51 montre les principaux flagellés trouvés dans la boue activée :

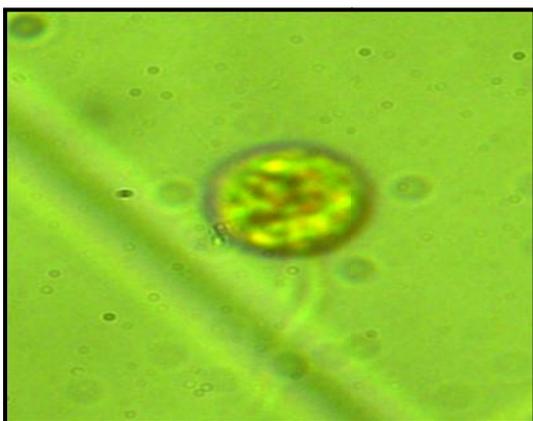


Figure 37 : *Monas globosa* X400

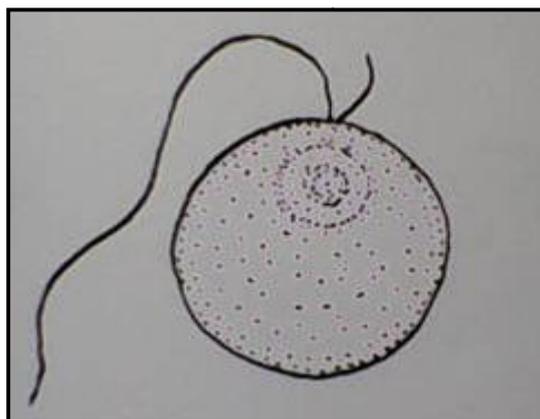


Figure 38 : *Monas globosa* (Canler et *al.*, 2014).

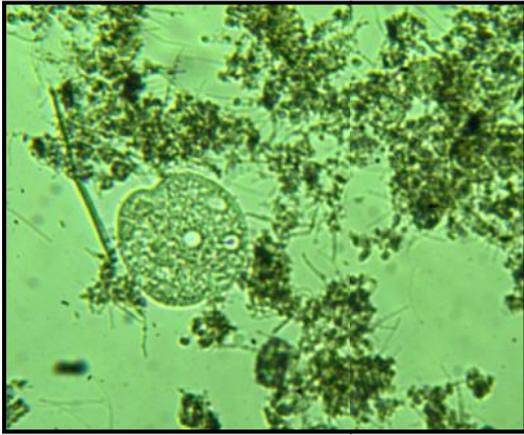


Figure 39 : *Oicomonas socialis* X400

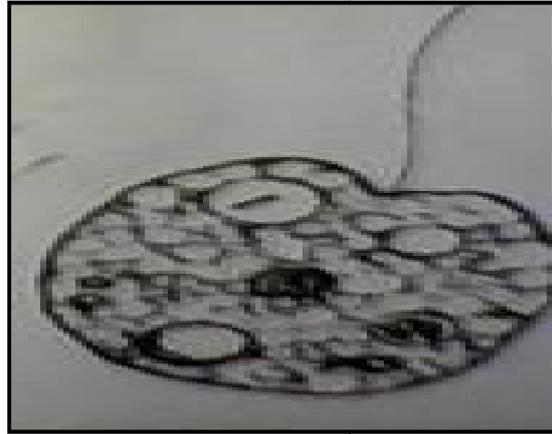


Figure 40 : *Oicomonas socialis* (Canler et al., 2014).



Figure 41 : *Euglena gracilis* X400.

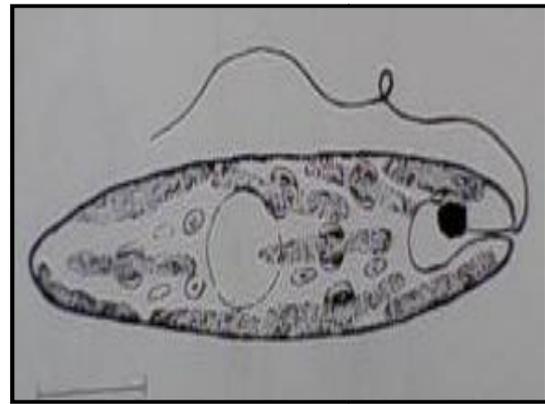


Figure 42 : *Euglena gracilis* (Canler et al., 2014).

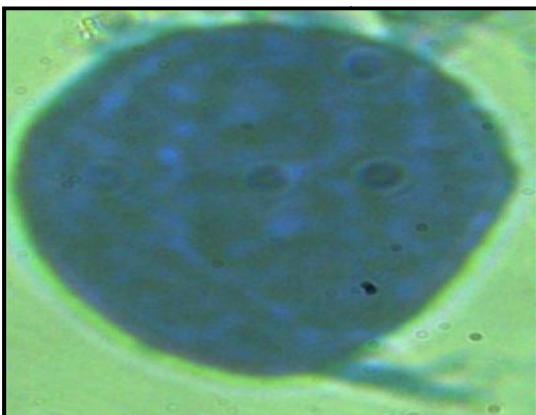


Figure 43 : *phacus sp* X400



Figure 44 : *phacus sp* (Site 8).



Figure 45: *Bodo caudatus* X400

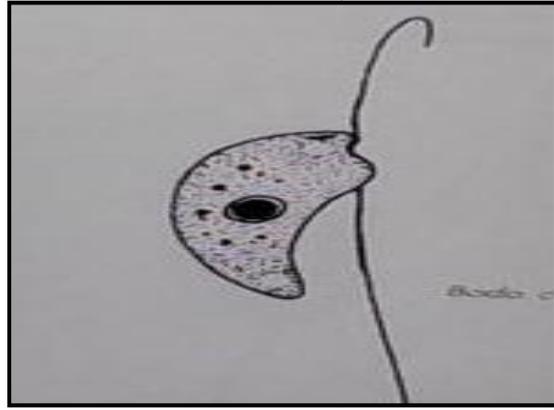


Figure 46 : *Bodo caudatus* (Canler et al., 2014).



Figure 47 : *Rhynchomonas sp* X400



Figure 48 : *Rhynchomonas sp* (Vedry, 1996).



Figure 49 : *Tetramitus sp* X400.

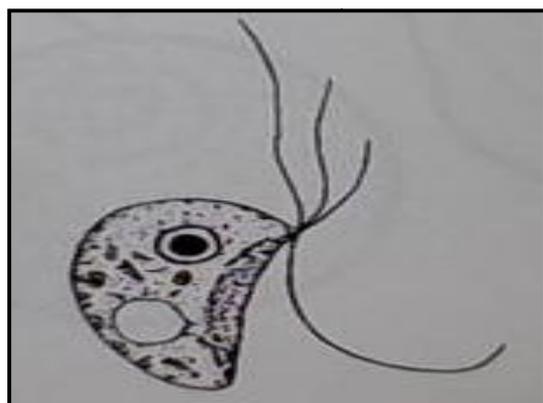


Figure 50 : *Tetramitus sp* (Canler et al., 2014).

2-1-2-Les sarcodines :

- Les principaux sarcodines trouvés dans la boue activées sont représentés dans les figures 51 à 64 :



Figure 51 : *Diffflugia globulosa* X400



Figure 52 : *Diffflugia globulosa* X100
(Hamaidi- Chergui et al., 2016).



Figure 53: *Actinophrys sp* X400.



Figure 54 : *Actinophrys sp* X400 (Vedry, 1996).

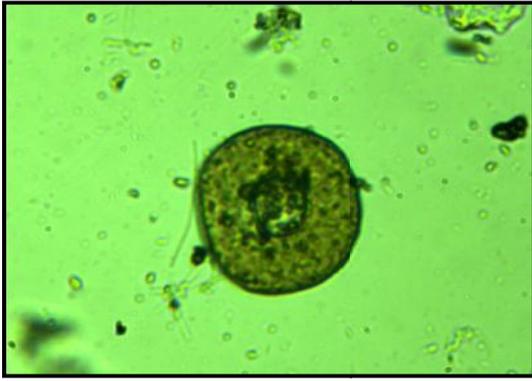


Figure 55 : *Arcella sp* X400.

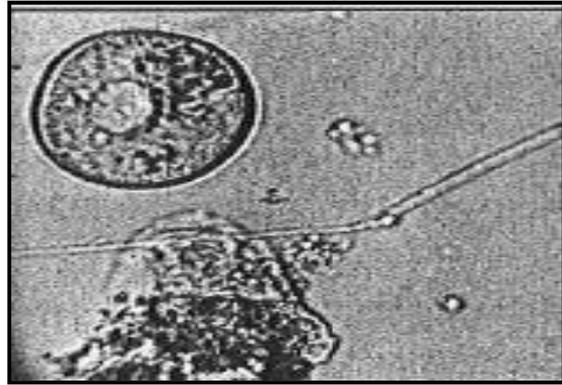


Figure 56 : *Arcella sp* X400 (Da motta, 2001).



Figure 57 : *Diffugia sp* X400.

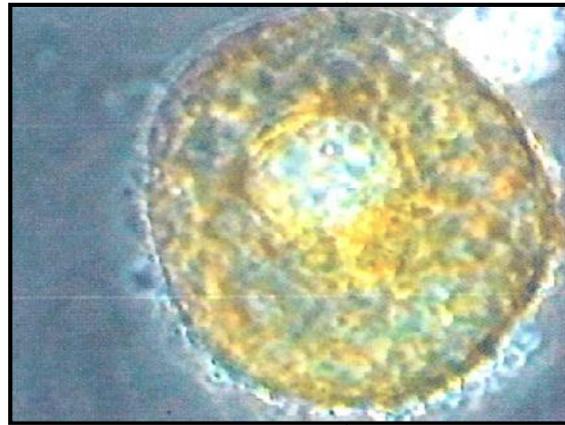


Figure 58 : *Diffugia sp* X400 (Vedry, 1996).

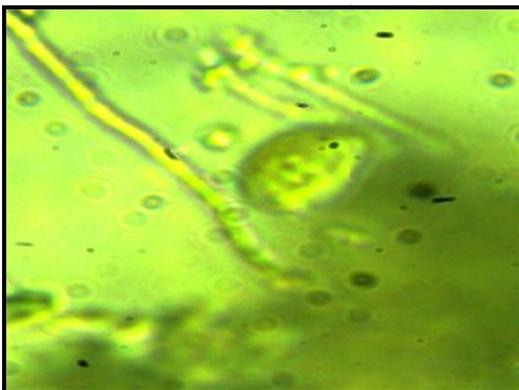


Figure 59 : *Trinema sp* X400

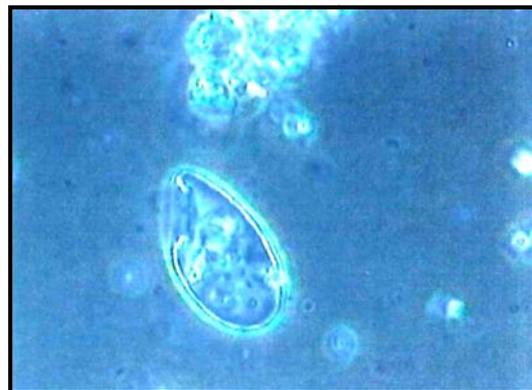


Figure 60 : *Trinema sp* X400 (Vedry, 1996).

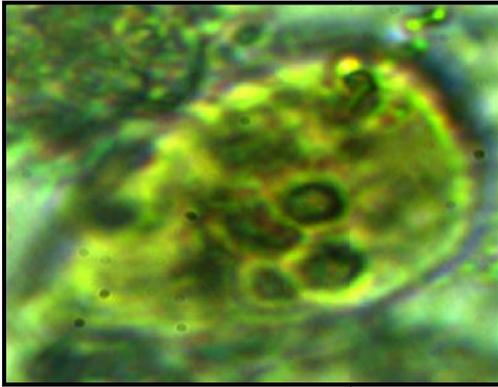


Figure 61 : Amibe à thèque
X400

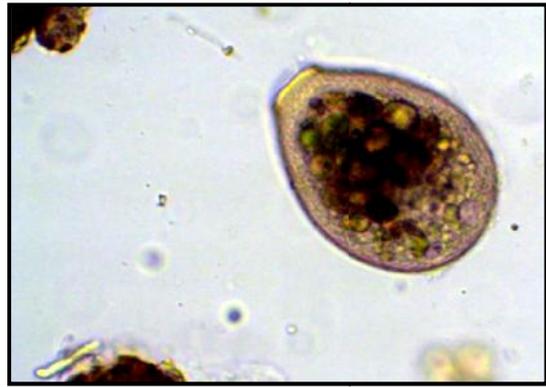


Figure 62 : Amibe à thèque
X400 (Site 8).



Figure 63 : *Hartamanella sp*
X400.

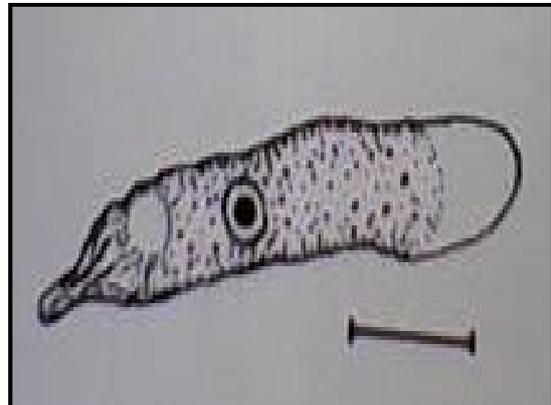


Figure 64 : *Hartamanella sp* (Canler
et al., 2014).

2-1-3-Les ciliés :

Les principaux ciliés trouvés dans la boue activée sont représentés dans les figures 65 jusqu'à 102 :

- Les figures 65 à 78 montrent les ciliés holotriches :



Figure 65: *Paramecium sp* X400.

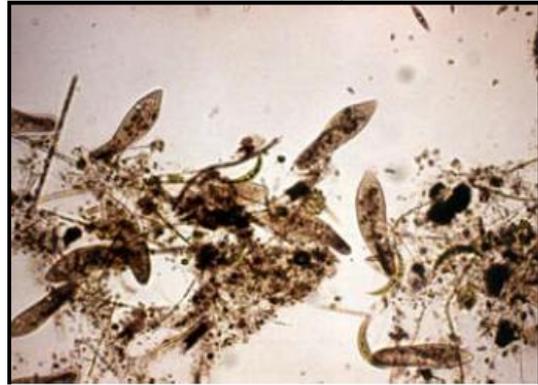


Figure 66: *Paramecium sp*X100 (CavallaM., 2014).

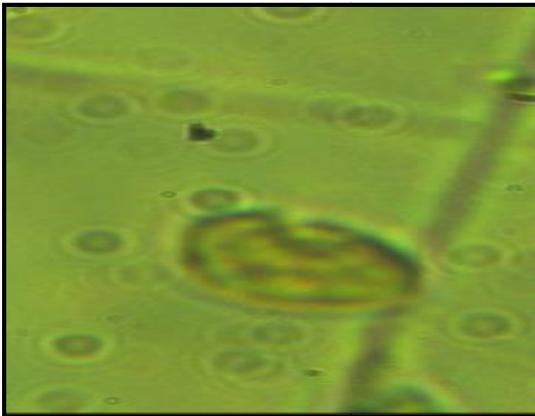


Figure 67: *Colpidium sp* X400.



Figure 68: *Colpidium sp* X630 (Canler et al., 2014).



Figure 69 : *Uronema Sp* X100.

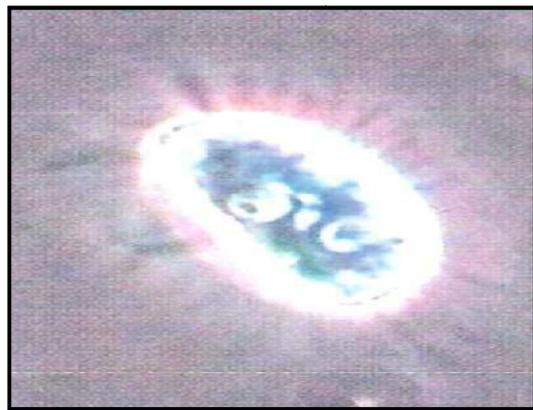


Figure 70 : *Uronema sp* (Vedry, 1996).



Figure 71 : *Tetrahymena pyriformis*
X100

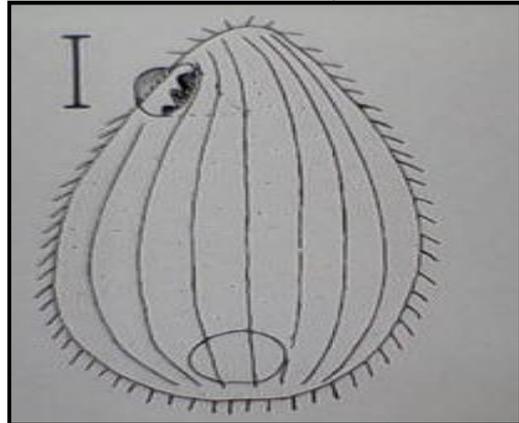


Figure 72: *Tetrahymena pyriformis*
(Canler et al., 2014).

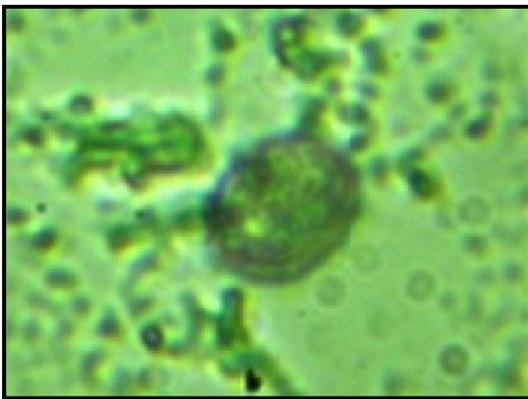


Figure 73 : *Colpoda cucullus*
X100

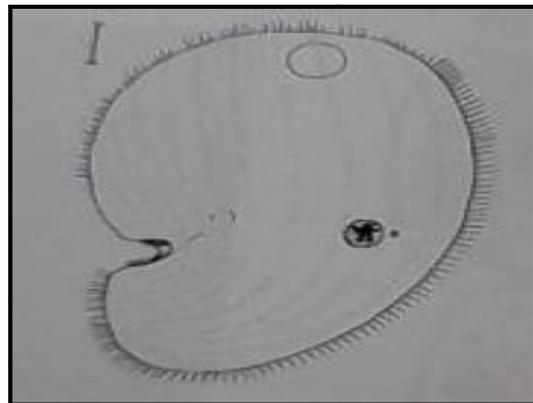


Figure 74 : *Colpoda cucullus* (Canler
et al., 2014).



Figure 75: *Didinium sp* X100.



Figure 76: *Didinium sp* (Site 8).



Figure 77: *Litonotus* X400.



Figure 78: *Litonotus* X200
(Cavalla, 2014).

- Les figures 79 à 90 représentent les ciliées péritriches :

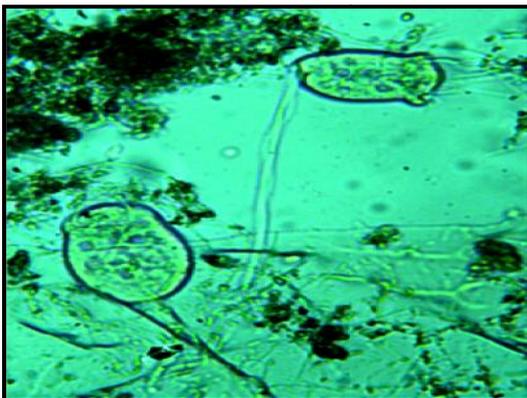


Figure 79 : *Vorticella* sp X400.

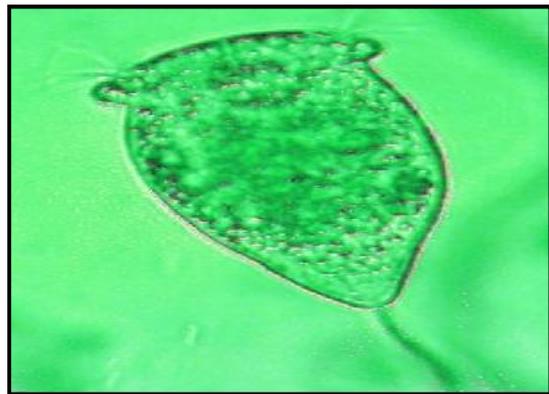


Figure 80 : *Vorticella* sp (site 9).

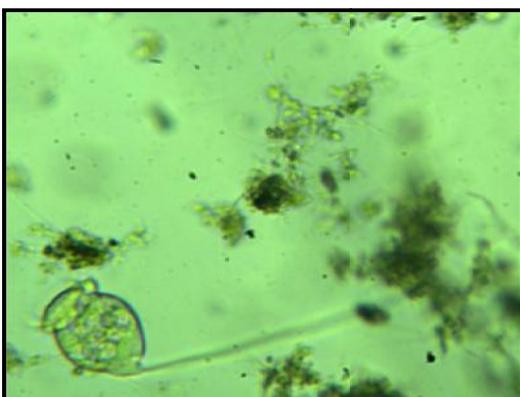


Figure 81 : *Vorticella microstoma*
X400



Figure 82 : *Vorticella microstoma*
X630 (Canler et al., 2014).

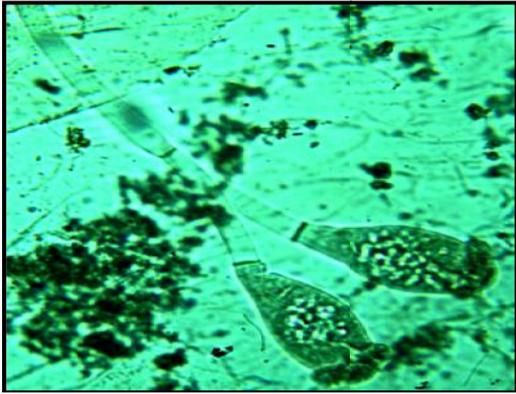


Figure 83 : *Epistylis sp X400*



Figure 84 : *Epistylis sp X400* (Da motta, 2001).

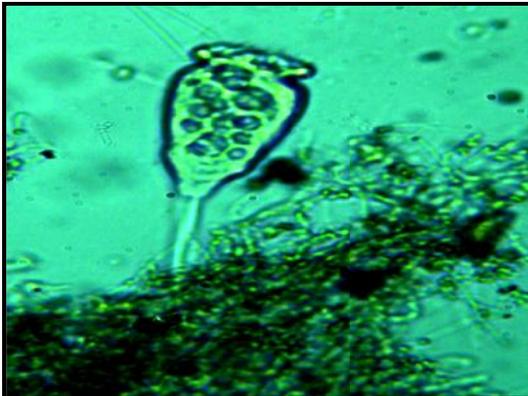


Figure 85: *Zoothamnium sp X400*.

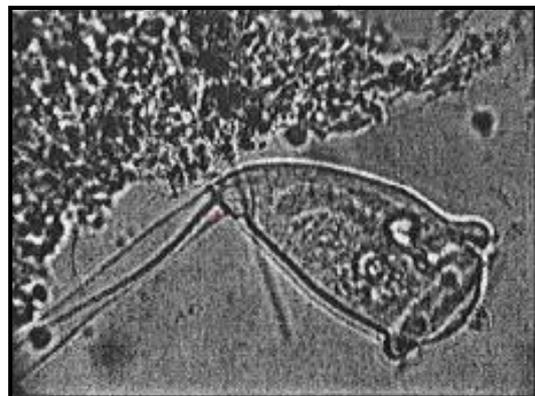


Figure 86: *Zoothamnium sp X400* (Da motta, 2001).



Figure 87: *Carchesium sp X400*.

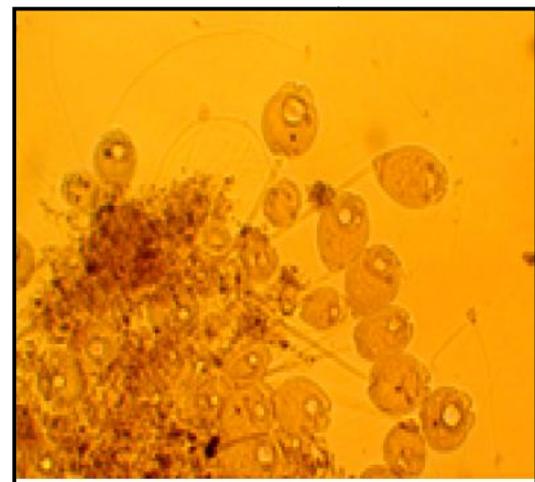


Figure 88: *Carchesium sp X400* (site 5).



Figure 89 : *Vaginocola* X400.

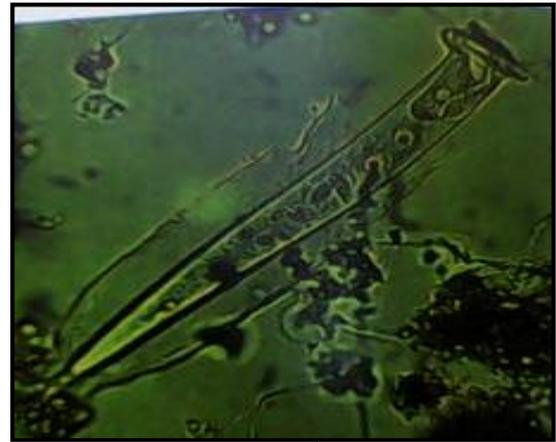


Figure 90 : *Vaginocola* X100 (canler et *al.*, 2014).

- Les figures 91 à 100 représentent les ciliés spirotriches :



Figure 91 : *Stentor sp* X100



Figure 92 : *Stentor sp* X100(Canler et *al.*, 2014).

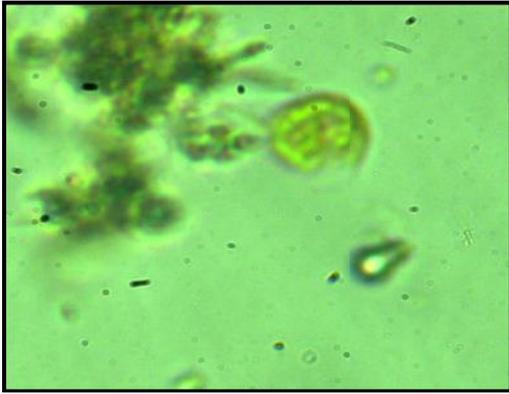


Figure 93: *Aspidisca sp* X400



Figure 94 : *Aspidisca sp* X400 (Canler et al., 2014).



Figure 95 : *Euplotes sp* X400.



Figure 96 : *Euplotes sp* X400 (Cavalla, 2014).



Figure 97: *Trithigmostoma* X400.

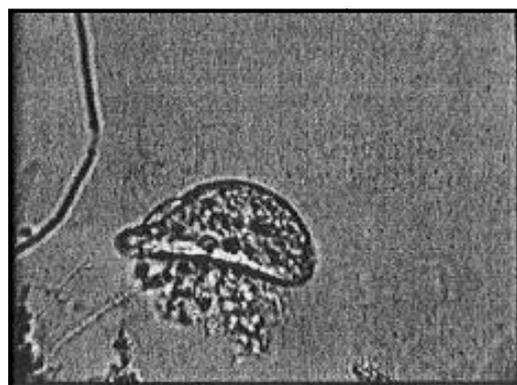


Figure 98: *Trithigmostoma* X400 (Da motta, 2001).

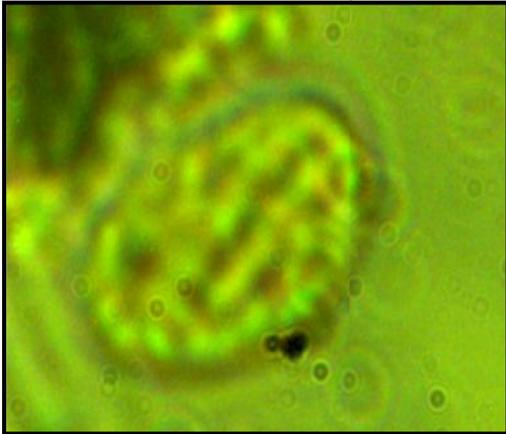


Figure 99 : *Histiculus sp* X400.



Figure 100 : *Histiculus sp* X600 (Canler et al., 2014).

- Les principaux ciliés suctoriens sont représentés dans les figures 101 à 104 :



Figure 101: *Acineta sp* X400.

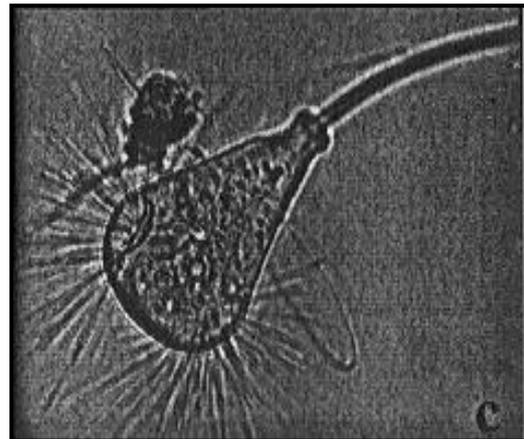


Figure 102 : *Acineta sp* X400 (Da motta , 2001).

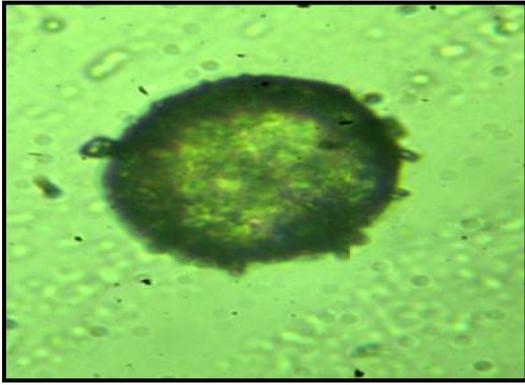


Figure 103: *Sphaerophrya pusilla* X400

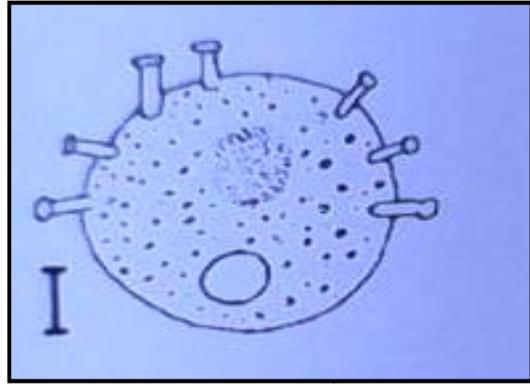


Figure 104 : *Sphaerophrya pusilla* (Canler et al., 2014).

2-1-4-Les métazoaires :

Les principaux métazoaires trouvés dans la STEP sont représentées dans les figures 105 à 108 :



Figure 105 : Nématode X400.



Figure 106 : Nématode X100 (Canler et al., 2014).

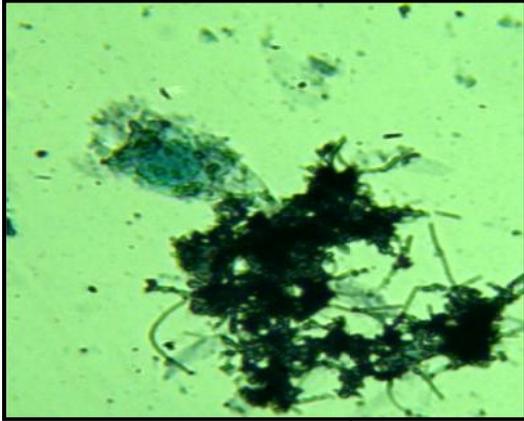


Figure 107 : Rotifère X400.



Figure 108 : Rotifère X100 (Canler et al., 2014).

En plus des protozoaires, nous avons identifié certains champignons et algues qui sont représentées dans les figures 109 à 114:

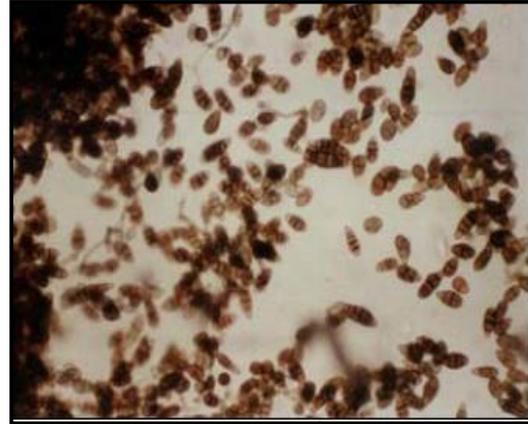
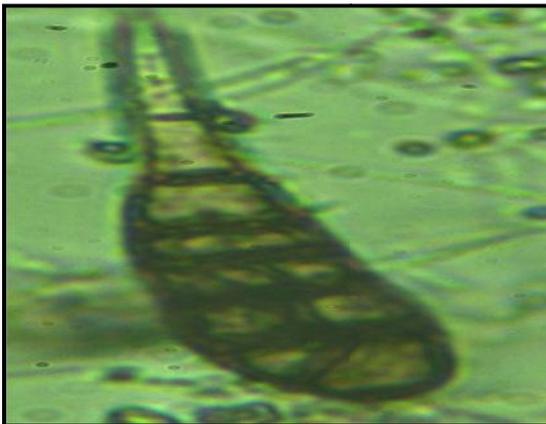


Figure 109 : *Alternaria* X400 (champignons). **Figure 110 :** *Alternaria* X100 (Cavalla, 2014).

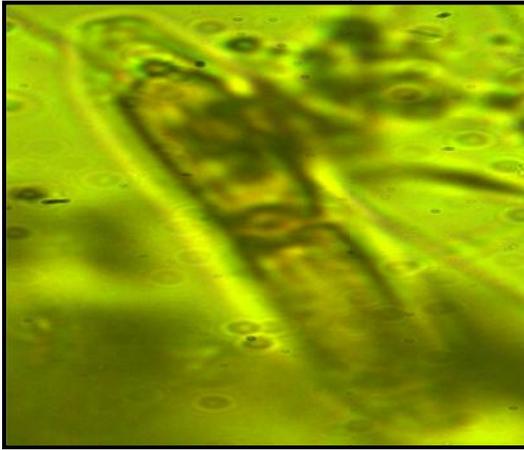


Figure 111 : *Gyrosigma* X400 (algue).



Figure 112 : *Gyrosigma* X200 (Cavalla, 2014).

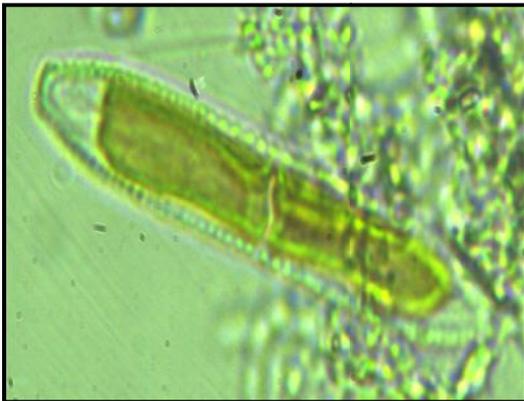


Figure 113 : *Navicula* X400 (algue).



Figure 114 : *Navicula* X 400 (Cavalla, 2014).

2-2- Comptage :

Les résultats de dénombrement des protozoaires et métazoaires dans la boue activés de la STEP de Sidi Merouane sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau n°5 : Comptage des microfaunes pour la STEP de Sidi Merouane pendant trois mois.

Microfaune																							
Protozoaire			Comptage ($\times 10^5$)																				
			Février						Mars						Avril								
			1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6			
Flagellés		Autre flagellé			1	4	2	1	1		2							1	1	1	1	1	
	Petite	<i>Anisonema</i>			1	1								1				1		1		1	
		<i>Monas globosa</i>			1	1								1									
		<i>Notosolenus</i>										1		1									
	Grands	<i>Peranema</i>								2	1												
		<i>Euglena gracilis</i>																				1	
Sarcodine	Amebiens		1	1			1							1		1	1	1	1		1		
		<i>Hartamanella vermiformis</i>								1													
	Thécamébiens	<i>Euglypha</i>			1	1																	
		<i>Arcella</i>								1							2						
Ciliés				1	2		5		1		3		3	3		1	1	3	1	1	1		
	Holotriche	<i>Coleps hirtus</i>		1																			
		<i>Paramécium</i>	1	2		1	2		1			1	1			1		1	1	1	1	1	
		<i>Tetrahymena Pyriformis</i>												1									
		<i>Uronema</i>										1											
		<i>Colpidium</i>		1								1					1						
		<i>Trachelophylum pusillum</i>						1			1			1									
		<i>Glaucoma scintillians</i>															1						
		<i>Chilodonella</i>										1						2					

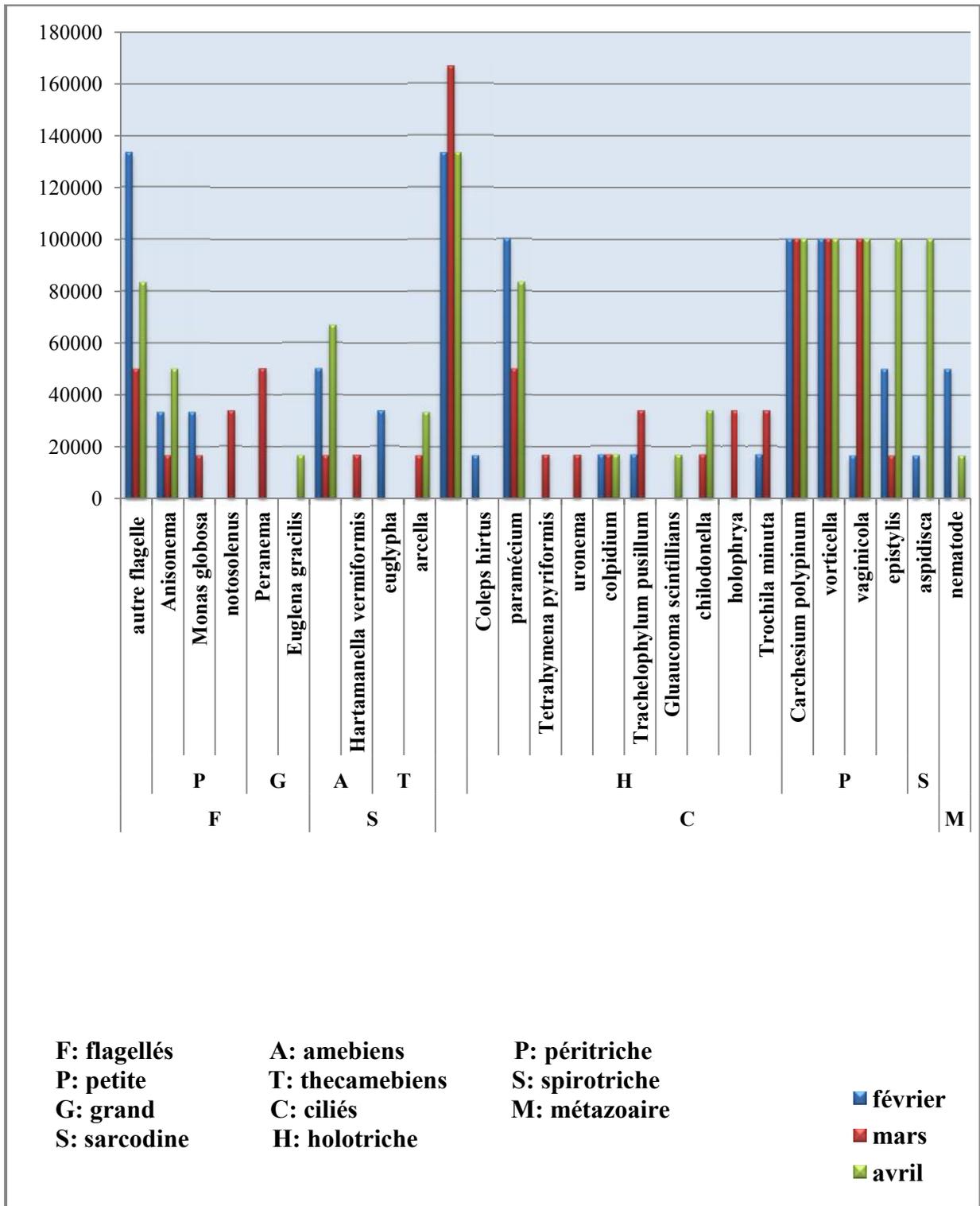


Figure 115 : Diagramme d'évolution du nombre des espèces de la microfaune de la boue activée (STEP de Sidi Merouane).

La microfaune des boues activées est bien connue comme un indicateur potentiel pour le contrôle opérationnel des systèmes de traitement biologique (Drakides, 1980). Elle joue un rôle important dans les systèmes de traitement des eaux usées.

L'examen microscopique de la boue activée de la STEP de Sidi Merouane révèle :

2-2-1-La présence des flagellés :

- ✓ Les petite flagellé (< à 20µm) signifie une surcharge en matière organique (Bento et *al.*, 2005).
- ✓ Grands telque (*Peranema* et *Euglena gracilis*) indiquent une faible charge (Canler et *al.*, 2014).

2-2-2-La présence des sarcodines :

- ✓ Les amibiens indiquent une bonne oxygénation et un bon traitement du carbone (Canler et *al.*, 2014).
- ✓ Les Thecamebiens ; la présence d'*Arcella* et *Euglypha* indique un bon processus d'épuration (Bento et *al.*, 2005) et témoigne d'une installation fonctionnant dans le domaine d'une faible charge, d'une aération prolongée, cela signifié d'une bonne performance en nitrification d'où un bon degré d'aération (Canler et *al.*, 2014).

2-2-3-La présence des ciliés :

Elle indique des installations fonctionnant correctement dans le domaine de l'aération prolongée (Hu et *al.*, 2013).

- ✓ Les ciliés holotriches :
 - La présence de *Coleps hirtus* indique une installation fonctionnant dans le domaine de la faible charge avec une oxygénation satisfaisante, une bonne efficacité de la nitrification et dans tous les cas un bon traitement du carbone (Canler et *al.*, 2014).
 - La présence de *Paramécium* est un indicateur d'une eau de bonne qualité et d'une faible charge (Canler et *al.*, 2014).
 - La présence de *chilodonella* indique des installation de bonne à très bonne qualité de traitement (Canler et *al.*, 2014).
 - *Trochila minuta* est un indicateur de bonne à très bonne qualité de l'eau interstitielle (Canler et *al.*, 2014).

- *Colpidium* ce sont des indicateur d'effluent de qualité moyenne à faible (Canler et al., 2014).
- ✓ La présence des ciliés spirotriches tel que *Aspidisca*, indique un bon phénomène de nitrification et bonne épuration avec une aération suffisante (Mihaylova et al., 2014).
- ✓ Les ciliées péritriches :
 - La présence d'*Epistylis* est associée à un fonctionnement correct et stable de l'installation. Ce genre est présent dans les boues fortement concentrées ayant un taux de MVS élevé et indique un bon traitement de la charge organique et de NH_4^+ , et indique une bonne aération (Canler et al., 1999).
 - *Carchesium polypinum* est présente dans les installations à fonctionnement stable où le processus de nitrification est bien développé. C'est un indicateur d'effluent de bonne voire de très bonne qualité (Salvado et al., 1995).
 - *Vorticella* indique la présence des bactéries libres (faible charge) et bonne aération (Canler et al., 1999).
 - La présence des *Vaginicola* montre une installation à fonctionnant en faible charge dont le processus de nitrification est performant, donc un bon degré d'aération (Canler et al., 1999).

2-2-4-Les métazoaires :

Nous avons trouve seulement les nématodes qui indique d'une bonne qualité de l'eau traite et nitrification très importante (Vedry, 1975 ; Degremont, 1989 ; Agence de l'eau, 1994 ; Vedry, 1996).

Les résultats de l'évolution du nombre des espèces de la boue activée pendant les trois mois d'étude montrent qu'il y'a apparition inégale des espèces. Certaines espèce apparaissent dans un mois et disparaissent dans les autre mois tel que (*Prenema*, *Hartamanella vermiformis*, *Tetrahymena pyriformis* , *Uronema*, *Notosolenus*, *Holophrya*) qui sont trouvé uniquement au mois de mars et à des concentrations qui atteignent (50000, 16000,16000,16000,30000,30000) individus/l, (*Euglypha*, *Coleps hirtus*) trouvé uniquement au mois février et à des concentration qui atteint (30000,16000) individus/l, (*Euglena gracilis*, *Glaucoma scintillians*) trouvé seulement au mois d'avril et à des concentrations atteignent (16000,16000) individus/l, cependant certains d'autres comme les ciliés existent dans tous les échantillons et durant tous les mois par exemple *Carchesium polypinum* présente dans tous les mois et sa concentration atteint 100000 individus /l ceci explique qu' on peut distinguer 2 types d'espèces :

Des espèces permanentes : ce sont des espèces ayant trouvé dans la boue activée un habitat parfaitement adapté a leur morphologie et a leur type de nourriture. Il s'agit principalement des ciliés péritriches (Vedry, 1975 ; Degremont, 1989 ; Agence de l'eau, 1994 ; Vedry, 1996).

Des espèces transitoires : ce sont des espèces qui trouvent dans les floes un habitat occasionnel plus ou moins convenable (Vedry, 1975 ; Degremont, 1989 ; Agence de l'eau, 1994 ; Vedry, 1996).

On peut remarquer aussi que les ciliés sont la classe la plus abondante. Selon (Canler, 2014) les ciliés forment le groupe de protozoaire le plus représenté dans la boue activée. Ils correspondent à la classe dominante lors des observations au microscope (70 % des populations) pour des installations fonctionnant correctement dans le domaine de l'aération prolongée (Hu et *al.*, 2013). Les ciliés protozoaires produisent des effluents traités clairs de bonne qualité en raison de leur capacité à se nourrir sur les bactéries et les particules en suspension et d'induire la floculation (Ratsak et *al.*, 1996).

Suivant notre résultat, la station d'épuration de Sidi Merouane fonctionne dans le domaine de faible charge avec une aération prolongée ou l'âge de boue est élevé donc la qualité du traitement est bonne.

Conclusion :

Les réacteurs des stations d'épuration des eaux usées par boues activées mettent en œuvre un écosystème hautement complexe où se rencontrent des bactéries, des algues, des protozoaires et des métazoaires.

A travers notre travail, réalisé sur la station d'épuration des eaux usées de Sidi Merouane, qui avait comme objectif d'étudier la microfaune qui existe dans la boue activée, l'observation microscopique de cette dernière a montré la présence d'une variété d'espèces : protozoaires (ciliés, flagellés et sarcodine) et métazoaires (nématode et rotifères). Ces organismes participent à l'élimination des bactéries libres qui constituent leurs proies et à la cohésion du floc par leurs déjections. En outre, l'observation microscopique a révélé aussi la présence de quelques algues et champignons telle que *Gyrosigma*, *Navicula* et *Alternaria*.

D'autre part, le comptage des protozoaires et métazoaires dans la boue activée a montré qu'il y a une variation de la composition de la microfaune pendant la période d'étude où se rencontre des espèces permanentes (principalement les ciliés prétriches) et d'autres transitoires telles que certains ciliés holotriches et certains flagellés.

Sachant que la population de protozoaires est un bon indicateur de l'efficacité d'une station d'épuration, nos résultats permettent de déduire que le bassin a un bon état de fonctionnement.

Annexe

Les solutions de colorations

❖ La solution de la coloration d'encre de chine

Encre de chine	1ml
Eau distillée	19ml (Pandolfi., 2006).

❖ La solution de la coloration de rouge neutre

Poudre de rouge neutre à raison de	0,01g
Eau distillée	100ml (Perrier et <i>al.</i> , 1997).

❖ La solution de la coloration par vert de méthyle acétique

Poudre de vert de méthyle	1g
Acide acétique	1ml
Eau distillée	100ml (Perrier et <i>al.</i> , 1997).

❖ La solution de l'iodo iodure

Iodure de potassium	10g
Iode	1g
Eau distillée	100ml (Perrier et <i>al.</i> , 1997).

Références bibliographique

- Agence de l'eau (France), 1994.** L'assainissement de l'agglomération. Technique d'épuration actuelles et évaluation étude inter agence.
- Agences de l'eau et ministère de l'environnement, 1994.** L'assainissement des Agglomérations. Techniques d'épuration actuelles et évolutions, Ed Agences de l'eau Seine-Normandie.
- Ali O., Med Salem O et Boukhary., 2008.** Travaux pratiques de biologie cellulaire. Biologie-Géologie1, université de Nouakchott, Maroc, p 13.
- Aminetou B-M et Aicha mint S-B., 2008.** Manuel de travaux pratiques de microbiologie. Département de biologie, université de Nouakchott, p 18.
- Amorce., 2012.** Boues de station d'épuration : technique, valorisation et élimination. Série technique, p 6.
- Asano T., 1998.** Wastewater reclamation and reuse. Water quality management library, p 911-923.
- Baumont S., Camard J-P., Lefranc A., Francon A., 2000.** Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaire et faisabilité en Ile-de France, Ed,Paris, p12-29.
- 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, p 220.
- Bento A-P., Philippi L-S., Sezerino P-H., Reginatto Vet Lapolli F-R., 2005.** Microfauna characterization in activated sludge wastewater treatment plant: an instrument of assessment and control of process. ARTIGO TECNICO: p329-338.
- Belhani M., Bourgois J –P et Marie-Noëlle., 2008.** Analyse du cycle de Vie : Epuration des eaux usées urbaines, Revue technique de l'ingénieur.
- Bioma. Co., 2006.** Notions techniques et pratiques sur l'épuration de l'eau et l'évacuation des boues. BIOMA Agro Ecology CO A, Switzer land, p5-6.
- Bonnin J., (1977).** Hydraulique urbain. 5^{ème} édition, Eyrole Paris, p 228.
- Bontaux j., (1994).** Introduction à l'étude des eaux résiduaires industrielle. 2^{ème} édition Lavoisier technique et documentation, p 225.

- Cardot C., 1999.** Les traitements de l'eau, Procédés physico - chimiques et biologiques. Ellipses, Paris, p 247.
- Canler J-P., Perret J-M., Duchène P et Cotteux E., 1999.** Aide au diagnostic des stations d'épuration par l'observation microscopique des boues activées. Cemagref, p155.
- Canler P., 2005.** Dysfonctionnements biologiques des stations d'épuration : origines et solutions. FNDAE n° 33 Document technique, Cemagref, p 100
- Canler J-P., Perret J-M., Duchène P et Cotteux E., 2014.** Aide au diagnostic des stations d'épuration par l'observation microscopique des boues activées. Edition Quae, p18-144.
- Cavalla M., 2014.** Atlas de microbiologie. Biotechnologie-ST2S, académie de Lyon, p9-34
- Champiat D., 1994.** Biologie des eaux: Méthodes & techniques, Masson, p374.
- Chaisemartin D., 2005.** Ingénieur d'études de la spécialité eau et environnement de l'ENSIL.
- Da motta M., 2001.** Applications de l'analyse d'image à la caractérisation de la microfaune de stations d'épuration des eaux usées. Thèse INPL, Nancy, p 45-153.
- Da motta M., Pons M-N et Roche N., 2001.** Automated monitoring of activated sludge in pilot plant using image analysis, Water Sci. Technol., 43 : (7), p 91-96.
- Dasha Mihaylova D., Prokopov T et Mihalkov N., 2014.** Hydrobiological Investigation of the Activated Sludge from Sequencing Batch Reactors of WWTP-Hisary. Ecologia Balkanica. Vol 5, special edition, p 41-47.
- Degrémont ., 1972.** Mémento technique de l'eau. Paris, Dégriement.
- Degrémont., 1989.** Mémento technique de l'eau. Ed du cinquantenaire.
- Degrémont., 1989.** Mémento technique de l'eau. 9eme Edition, Tome 1 et 2, Editions Lavoisier, Paris.
- Degrémont ., 2005.** Mémento technique de l'eau. 10ème Ed, Lavoisier, Paris , p1904.
- Degrémont., 2006.** Mémento technique de l'eau (tomes 1 et 2). 10ème édition, Ed, Degremont-Suez.
- Devaux I., 1999.** Intérêt et limite de la mise en place d'un suivi sanitaire dans le cadre de la réutilisation agricole des eaux usées traitées de l'agglomération clermontoise. Thèse scientifique (Science de la Vie et de la Santé), univ Joseph Fourier, Grenoble, p257.

- Dugniolle H., 1980.** L'assainissement des eaux résiduaires domestique, CSTC- revue n°3-septembre, p44-52.
- Duchène P., 1994.** Dysfonctionnement biologique dans les stations d'épuration en boue activée, éditions du CEMAGREF, p9.
- Drakides C., 1980.** La microfaune des boues activées. Etude d'une méthode d'observation et application au suivi d'un pilote en phase de démarrage. Water Research, Vol : 14, p1199-1207.
- FAO., 2003.** L'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation. FAO Irrigation and Drainage paper, p 65.
- Franck R., 2002.** Analyse des eaux, Aspects réglementaires et techniques. Edition Scérén CRDP AQUITAINE, Bordeaux, p165-260.
- Franck R., 2005.** Analyse des eaux, aspects réglementaires et techniques. Centre régional de documentaires techniques pédagogique d'aquitaine.
- Gaujous D., 1995.** La pollution des milieux aquatiques : aide - mémoire, 2^{ème} édition.
- Gaujous D., 1995.** La pollution des milieux aquatiques. Edit, Lavoisier Techniques et documentation, Paris, p217.
- Gaid A., 2008.** Traitement des eaux résiduaires. Revue technique de l'ingénieur, 10 Février.
- Gerardi M-H., Horsfall F-L., et al., 1990.** Wastewater biology : the microlife, A Special Publication, Water Environment Federation, Virginie.
- Glanic R et Benneton J-P., 1989.** Caractérisation d'effluents d'assainissement individuel et essais de matériels d'assainissement autonome-TSM-L'eau-84 années-N11-p573-584.
- Guezlane -Tebibel N., kahlouche B et Athmani-Guemouri S., 2010.** Microbiologie travaux pratique. 3^{ème} édition corrigée, office des publications universitaires, Alger, p 103-104.
- Grulois P., Famel J-C., Hangouet J- P et Fayoux C., 1996.** Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme... en boues, L'eau, l'industrie, les nuisances, 195, p42-46.

- Hamaidi-Chergui 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 : cas de la station d'épuration de Médéa. Larhyss Journal, ISSN 1112 - 3680 : n°26, p 183-208.
- Henri A et Graziella D., 2004.** Le traitement des eaux usées (Institut national de recherche et de sécurité) novembre, Paris.
- Hu B., Qi R et Yang M., 2013.** Systematic analysis of microfauna indicator values for treatment performance in a full-scale municipal wastewater treatment plant. Journal of Environmental Sciences. Vol 25, Issue 7, p1379-138.
- Joseph S., Deviny., Marc A., Deshusses., Todds et Webster., 1999.** Biofiltration for air pollution control, University of California. USA, August 31, by CRC press, p299.
- Komadel P., Schmidt D., Madejova J., Ciel B., Appl, 1990.** Clay Sci, P 5-113.
- Lazarova V., Gaid A., Rodriguez-Gonzales J., Alday Ansola J., 2003.** L'intérêt de la réutilisation des eaux usées : analyse d'exemples mondiaux. Technique, Sciences et méthodes, N9, p 64-85.
- Ladjet F., 2006.** Exploitation d'une station à boue activée. Centre de formation aux Métiers de l'assainissement CFMA, Office national de l'assainissement (ONA), Boumerdes.
- Lacroix S., 2008.** Étude des mécanismes physiologiques et moléculaires de la filamentation de *Sphaerotilus natans*, bactérie modèle du foisonnement invasif en boues activées. L'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (agroParisTech), P 27-74.
- Legube B., 1996.** Le traitement des eaux superficielles pour la production d'eau potable, agence de l'eau loir –Bretagne
- Madoni P., Davoli D., Guglielmi L et Stefanini C., 1996.** Atlante Fotografico : Guida all'analisi microscopica del fangio attivo, AGAC di Reggio Emilia - Università degli Studi di Panna, Panna.
- Metahri M-S., 2012.** Elimination 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, spécialité agronomie, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, p 5.
- Monnier G., 1989.** A propos de la protection du patrimoine du XX^e siècle. Les Cahiers de la recherche architecturale, n°24-25, p49-52.

- Navarro P., 2003.** Les traitements biologiques des eaux et des boues [2ème partie].
L'opéron 25, p 2-25.
- Ouali M. S., 2001.** Cours de procédés unitaires biologiques et traitement des eaux. Office des Publications Universitaires, Alger, p12-31.
- Paul E., Rols J-L et Debellefontaine H., 1999.** Perspectives de recherche et d'innovation pour une réduction de la production des boues urbaines, Journée technique : station d'épuration comment maîtriser à la source la qualité et la quantité des boues, INSA, Toulouse France, 29 avril.
- Pandolfi D., 2006.** Caractérisation morphologique et physiologique de la biomasse des boues activées par analyse d'images. Thèse de doctorat, Institut polytechnique de lorraine, p 39-67.
- Perrier R., Auffret V-D., Kemp T et Zonszain F., 1997.** Expériences faciles et moins faciles en sciences biologiques. Doin éditeurs, France, P 272-276.
- Pujol R., Vachon A et Martin G., 1990.** Guide technique sur le foisonnement des boues activées. Document technique FNDAE, n°8.
- Pony A., 2009.** Estimation de performances épuratoires : Caractérisation de boues de station d'épuration. Master 2, Sciences de l'Univers, Environnement, Ecologie Université Pierre et Marie Curie, p7.
- Ratsak C-H., Maarsen K-A., Kooijman S., 1996.** Effects of Protozoa on carbon mineralization in activated sludge. Water Research 30: p1-12.
- 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} 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 et eaux de mer. 8^{ème} Ed. Dunod, Paris, p1383.
- Rodier J., 2009.** L'analyse de l'eau. 9^{ème} édition, Dunod, Paris, p 333.
- Salvado H., Gracia M-P et Amigo J-M., 1995.** Capability of ciliated protozoa as indicators of effluent quality in activated sludge plants. Water Res., 29, p 1041-1050.
- Satin M., Belmi B., 1999.** Guide technique de l'assainissement. 2^{ème} Ed, Paris, le Moniteur, p 680.

STEP de Sidi Merouane.

Tarmoul F et Sodi M., 2007. Détermination de la pollution résiduelle d'une station d'épuration par lagunage naturel, Mémoire.

Tarmoul F et Sodi M., 2007. Détermination de la pollution résiduelle d'une station d'épuration par lagunage naturel. Mémoire, Tribune de l'eau n° :563/3, Ed, CEBEDOC, p27-32.

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

Vedry B., 1975. Analyse écologique des boues actives. Ed Brucker, p 16-26.

Xanthoulis D., 1993. Valorisation agronomique des eaux usées des industries agro-alimentaires.

Références Sitographiques

- Site 1:** http://simulium.bio.uottawa.ca/bio2525/Notes/Les_Protozoaires.htm (1 of 9)18 04 20057h52h13
- Site 2:** https://www.google.dz/search?q=diplomonadida&ie=utf-8&oe=utf-8&rls=org.mozilla:fr:official&client=firefoxbeta&source=hp&channel=np&gws_r=c r&ei=m41eU4_hHsrK0AWV9YHQAg
- Site 3:** [www.ured-douala.com /Cours magistral /Niveau II / BA 222 /Zoologie / Protozoaires Intro2009Sem1](http://www.ured-douala.com/Cours_magistral/Niveau_II/BA_222/Zoologie/Protozoaires_Intro2009Sem1)
- Site 4:** [http://www.Microbiologie %20 des %20 boues %20activ %C3 % A9es %20_%20 Traitement%20Des%20Eaux%20Us%C3%A9es.htm](http://www.Microbiologie%20des%20boues%20activ%C3%A9es%20_%20Traitement%20Des%20Eaux%20Us%C3%A9es.htm)
- Site 5:** [http://www.Biotechnologies % 20 ST2S % 20_% 20 traitement %20 des % 20 eau % 20 Faune %20 des % 20 boue % 20 activ %C3 % A9es.htm](http://www.Biotechnologies%20ST2S%20_%20traitement%20des%20eau%20Faune%20des%20boue%20activ%C3%A9es.htm)
- Site 6:** <http://www.diatomloir.eu/Siteplancton/Tychoplancton.html>
- Site 7:** http://ecoledeleau.eau-artois-picardie.fr/spip.php?page=article-imprim&id_article=66
- Site 8:** [http://www.microscopies.com/DOSSIERS/Magazine/Articles/JMC-Guide/planche 3.htm](http://www.microscopies.com/DOSSIERS/Magazine/Articles/JMC-Guide/planche3.htm)
- Site 9:** <http://cgdc3.igmors.u-psud.fr/microbiologie/cilies.htm>