



REPUBLIQUE ALGERIENNE  
DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT  
SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE



Université Constantine 1 Frères Mentouri  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département : Écologie et Environnement

Mémoire présenté en vue de l'obtention du  
Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Écologie et Environnement

Spécialité : *Écologie Fondamentale et Appliquée*

**Thème :**

**Caractérisation physico-chimique et microbiologique des  
déchets organiques et des boues d'épuration destinés à un  
co-compostage**

Présenté et soutenu par : Mahaman Moussa Hassan

Jury d'évaluation :

Le : 12/06/2024

Président :	Pr. Touati Laid,	Prof, UFMCI
Examinatrice :	Mme. Boughaba Rokia,	MAA, UFMCI
Encadrant :	M. Nourine Heidar,	MAA, CRBt, Constantine.
Co-encadrant :	Pr. Sahli Leila,	Prof, UFMCI

Année universitaire:  
2023-2024

# Remerciements



*Nous remercions ALLAH de nous avoir accordé le courage et la volonté d'achever ce travail.*

*Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance et ma gratitude à mon encadreur, le chercheur M. Heidar Nourine, et le remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué grandement à la réalisation de mon travail.*

*Je remercie les microbiologistes Dr. Nabil Charchar et l'ingénieur Mme. Randa Khodja et tous les ingénieurs et chercheurs du CRBt qui ont contribué à la réalisation de ce travail.*

*Je voudrai remercier également les membres du jury pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'évaluer et de juger mon travail.*

*Je souhaite aussi exprimer mes vifs remerciements à l'ensemble des professeurs pour leur soutien moral et intellectuel durant les précédentes années.*

# *Dédicaces*



*Je dédie ce modeste travail :*

□ *A ma chère mère Hadiza que je ne cesse de remercier pour m'avoir mis au monde et pour tout ce qu'elle m'a donné.*

□ *A mon cher papa, Monsieur Mahaman Moussa , qui a toujours cru en moi et a mis à ma disposition tous les moyens nécessaires pour que je réussisse dans mes études Et je Remercie Allah de les avoir protégés pour être témoins de mes progrès.*

□ *A mes chers sœurs Rayanatou, Housseina, Nadjaatou, Fadjima et Oumou Kalthoum.*

□ *A toute ma grande famille.*

□ *A toute ma promotion d'écologie.*

□ *A tous mes amis: Malgré que chacun ait pris sa voie, on se rencontre toujours à la croisée des chemins.*

□ *Et au final à tous ceux qui me sont chers, et à toutes personnes qui m'ont aidé de Près ou de loin.*

# *Table des matières*

INTRODUCTION.....	1
Chapitre 1 : Synthèse Bibliographique .....	3
1.1.1 Les boues résiduaires.....	4
1.1.1.1 Composition des boues résiduaires .....	4
1.1.1.1.1 Matière organique .....	4
1.1.1.1.2 Eléments fertilisants et amendements .....	4
1.1.1.1.3 Contaminants chimiques inorganiques et organiques .....	5
1.1.1.1.4 Les micro-organismes pathogènes .....	5
1.1.1.2 Les différentes filières de traitement des boues .....	5
1.1.1.2.1 La mise en décharge contrôlée .....	6
1.1.1.2.2 L'incinération .....	6
1.1.1.2.3 Utilisation agricole des boues .....	7
1.1.2 Généralités sur le compostage .....	8
1.1.2.1 Définition du compostage.....	8
1.1.2.2 Définition du compost.....	8
1.1.2.3 Les phases du compostage.....	9
1.1.2.3.1 La phase de fermentation .....	9
1.1.2.3.2 La phase de maturation .....	9
1.1.2.4 Les paramètres du compostage .....	10
1.1.2.4.1 La température .....	10
1.1.2.4.2 Le rapport C/N.....	12
1.1.2.4.3 L'humidité .....	13
1.1.2.4.4 Le pH.....	14
1.1.2.4.5 L'oxygène.....	15
1.1.2.4.6 Aspect microbiologique du compostage .....	15
1.1.2.5 Maturité et stabilité du compost.....	16

1.1.2.5.1	Les indicateurs empiriques .....	16
1.1.2.5.2	Les indicateurs chimiques .....	17
1.1.2.5.3	Indicateurs biologiques et microbiologiques .....	17
Chapitre 2	: Matériel et méthodes .....	19
1.2.1	Objectif de l'étude.....	20
1.2.2	Matériels d'étude.....	20
1.2.2.1	Les boues d'épuration .....	20
1.2.2.2	Les déchets verts .....	20
1.2.3	Méthode d'étude .....	22
1.2.3.1	Les analyses physico-chimiques .....	22
1.2.3.1.1	Mesure du pH .....	22
1.2.3.1.2	Mesure de la Conductivité électrique (CE) .....	22
1.2.3.1.3	L'humidité .....	23
1.2.3.1.4	Azote Total (Méthode de KJELDAHL) .....	23
1.2.3.1.5	La teneur en carbone .....	24
1.2.3.1.6	Le rapport C/N.....	25
1.2.3.2	Analyses microbiologiques.....	26
1.2.3.2.1	Recherche et dénombrement de la flore mésophile totale.....	26
1.2.3.2.2	Recherche et dénombrement des coliformes fécaux.....	27
1.2.3.2.3	Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux .....	29
1.2.3.2.4	Recherche des germes pathogènes.....	31
1.2.3.2.4.1	Recherche et dénombrement de Clostridium sulfito-réducteur .....	31
1.2.3.2.4.2	Recherche des vibrions .....	33
1.2.3.2.4.3	Recherche de salmonelles .....	34
Chapitre 3	: Résultats et discussion .....	36
1.2.4	RESULTATS .....	37

1.2.4.1	Les résultats des analyses physico-chimiques .....	37
1.2.4.1.1	Le pH.....	37
1.2.4.1.2	La conductivité électrique (CE).....	38
1.2.4.1.3	L'humidité .....	38
1.2.4.1.4	Azote Total (Méthode de KJELDAHL).....	39
1.2.4.1.5	Teneur en carbone.....	39
1.2.4.1.6	Le rapport C/N.....	40
1.2.4.2	Les résultats des analyses microbiologiques .....	41
1.2.4.2.1	Résultats de la recherche de la flore mésophile totale .....	41
1.2.4.2.2	Résultats de la recherche et du dénombrement des streptocoques fécaux 42	
1.2.4.2.3	Résultats de la recherche et du dénombrement des coliformes fécaux ...	45
1.2.4.2.4	Résultat de la recherche de Clostridium sulfito-réducteur .....	47
1.2.4.2.5	Résultats de la recherche des vibrions (vibrio ssp).....	48
1.2.4.2.6	Résultats de la recherche de salmonelles .....	48
1.2.4.3	Évaluation des proportions du mélange .....	49
1.2.5	DISCUSSION.....	50
	CONCLUSION.....	55
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	58

## *Liste des figures*

<b>Figure 1:</b> Processus de compostage (Charnay, 2005).....	8
<b>Figure 2:</b> Courbe théorique d'évolution de la température au cours du compostage (Francou, 2003).....	12
<b>Figure 3:</b> Courbe de variation du pH au cours du compostage (Mustin 1987).....	15
Figure 11: Protocole de recherche et dénombrement des germes totaux .....	27
Figure 12: Protocole de recherche et dénombrement des coliformes fécaux .....	29
Figure 14: Protocole de recherche et dénombrement des streptocoques fécaux.....	31
Figure 16: Protocole de recherche des spores des bactéries anaérobies sulfite-réducteurs.....	33
Figure 18: Protocole de recherche des vibrios .....	34
Figure 19: Protocole de recherche des salmonelles.....	35
Figure 20: valeurs mesurées du pH des boues et des déchets verts .....	38
Figure 21: Conductivité électrique des boues .....	38
Figure 22: Teneur en eau des échantillons.....	39
Figure 23: Pourcentage en azote de boues et déchets verts .....	39
Figure 24: Résultats dénombrement de la flore totale des boues.....	41
Figure 25: Résultats dénombrement de la flore totale des déchets verts.....	42
Figure 26: Résultats du dénombrement de Streptocoque fécal.....	45
Figure 27: Résultats dénombrement de coliforme fécal.....	47

## *Liste des tableaux*

Tableau 1: Température et durée d'exposition nécessaire à la destruction de pathogènes (Bustamante et al. 2008). .....	10
<b>Tableau 2:</b> Rapport C/N de divers substrats (Mustin, 1987) .....	13
Tableau 3 : Résultats des analyses physico-chimiques .....	37
Tableau 4: Calcul de la teneur en carbone des boues d'épuration.....	40
Tableau 5: Calcul de la teneur en carbone des déchets verts.....	40
Tableau 6: Calcul du rapport C/N .....	40
Tableau 7: Résultats de la recherche de la flore mésophile totale .....	41
Tableau 8: Résultats du test présomptif pour la recherche de streptocoques .....	44
Tableau 9: Résultats du test de confirmation pour la recherche des streptocoques fécaux .....	44
Tableau 10: Résultats du test présomptif pour les recherches de coliformes fécaux .....	46
Tableau 11: Résultats du test de confirmation pour la recherche de coliformes fécaux .....	46
Tableau 12: Résultats de la recherche de Clostridium sulfito-réducteur.....	47
Tableau 13: Teneur en eau et rapport C/N des intrants .....	49



## *Liste des photos*

Photo 1 : Collecte des boues d'épuration .....	20
Photo 2 : Collecte des déchets verts .....	21
Photo 3 : Séchage des déchets verts .....	21
Photo 4 : Broyages des déchets verts .....	21
Photo 5 : Mesure du pH.....	22
Photo 6 : Mesure de la conductivité électrique .....	23
Photo 7 : Calcination des échantillons.....	25
Photo 8 : Tubes positifs (milieu Schubert) .....	29
Photo 9: Tubes après incubation .....	31
Photo 10 : Tubes après incubation (Milieu de culture : viande foi) .....	33
Photo 11 : Présence d'Escherichia Coli .....	47
Photo 12 : Présence de vibrions .....	48
Photo 13 : Présence de salmonelles.....	49

## *Liste des abréviations*

- CET** : Centre d'Enfouissement Technique
- CRBt** : Centre de Recherche en Biotechnologie
- HAP** : hydrocarbures aromatiques polycycliques
- PCB** : polychlorobiphényles
- STEP** : station d'épuration des eaux usées
- Ph** : potentiel hydrogène
- CEC** : Capacité d'échange cationique
- N-NO<sub>3</sub>-/N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>** : le rapport nitrate sur ammonium
- C/N** : rapport carbone sur azote
- CE** : Conductivité électrique
- mS/cm** : millisiemens/centimètre
- H (%)** : teneur en eau
- MO (%)** : teneur en matière organique
- C (%)** : teneur en Carbone
- GN** : Gélose nutritive
- NPP** : nombre le plus probable
- ASR** : anaérobies sulfito-réducteurs
- H<sub>2</sub>S** : sulfure d'hydrogène
- MH** : Muller Hinton
- EPA** : Eau peptone alcaline
- SS** : *Salmonella sp* et *Shigella sp*
- UFC** : Unité formant colonie

# *INTRODUCTION*

En Algérie, la gestion des déchets reste un défi majeur malgré les efforts législatifs et techniques déployés depuis 2001 pour répondre aux exigences environnementales et de développement durable. Actuellement, le pays compte 101 Centres d'Enfouissement Technique (CET) en exploitation à travers le territoire national, initialement prévus pour recevoir les ordures ménagères non recyclables mais qui aujourd'hui sont confrontés à des problèmes critiques tels que l'accumulation excessive des déchets, la saturation prématurée des casiers, le traitement du lixiviat et la récupération de biogaz.

Actuellement, l'enfouissement reste la méthode privilégiée pour la gestion des déchets ménagers et assimilés en raison de leur teneur élevée en humidité. Cependant, des alternatives telles que l'incinération et le compostage sont encore insuffisamment développées. Les Centres d'Enfouissement Technique (CET) qui sont censés fonctionner jusqu'en 2030, risquent de ne pas atteindre cette date en raison du rythme actuel d'exploitation et d'un faible taux de recyclage et de récupération, qui se situe à seulement 7%. Les projections indiquent que les quantités de déchets pourraient dépasser les 30 millions de tonnes d'ici 2025 sans une politique de prévention efficace. La matière organique biodégradable représente 54,4% des déchets ménagers et assimilés, seulement environ 9,83% de ces déchets sont valorisés. le potentiel de compostage reste largement sous-exploité, ne dépassant pas 1% des activités annuelles au niveau national (l'Agence Nationale des Déchets 2020).

Le compostage représente une approche écologique et durable pour valoriser les déchets organiques notamment les déchets ménagers et les boues résiduaires. Il offre une alternative à l'exploitation des centres d'enfouissement technique (CET) et à leurs inconvénients. Ce processus transforme ces déchets en un amendement organique enrichi en nutriments essentiels pour les sols. En réduisant la quantité de déchets destinés aux décharges, le compostage contribue à prolonger la durée de vie des CET tout en réduisant les coûts associés à la gestion des déchets.

Le projet en cours de développement au Centre de Recherche en Biotechnologie (CRBt) à Constantine vise à résoudre les défis de gestion des déchets en Algérie. Il se concentre sur plusieurs axes principaux, notamment la Caractérisation physico-chimique de la fraction organique des déchets en vue de leur valorisation dans la production d'un biocompost fertilisant utilisé en l'agriculture.

Dans cette perspective, notre étude se concentre sur la caractérisation à la fois physico-chimique et microbiologique, des boues d'épuration et des déchets verts en vue de préparer un

mélange compostable. L'objectif final est de proposer des recommandations pour optimiser la préparation du compostage et répondre aux enjeux de gestion des déchets.

Notre étude est structurée en trois chapitres distincts : Le premier chapitre se consacre à une revue de la littérature portant sur les boues d'épuration et le processus de compostage. Le deuxième chapitre détaille la méthodologie utilisée, incluant les équipements et les techniques spécifiques employées dans notre analyse. Enfin, le troisième chapitre se concentre sur l'analyse des résultats obtenus, leur interprétation et l'évaluation des proportions du mélange à composter.

Ce travail sera conclu par une discussion synthétisée des principaux résultats et une mise en perspective des recommandations pour développer des pratiques de compostage adaptées aux contextes locaux. Ce travail de recherche sera complété par une conclusion générale et une section détaillant les références bibliographiques consultées.

# *Chapitre 1 : Synthèse Bibliographique*

## 1.1.1 Les boues résiduaires

### 1.1.1.1 Composition des boues résiduaires

Les boues résiduaires, issues des processus de traitement des eaux usées, constituent une part substantielle des déchets générés par les stations d'épuration. Comprendre la composition de ces boues est essentiel pour plusieurs raisons. Tout d'abord, cela permet d'évaluer leur potentiel de valorisation, que ce soit par le biais du compostage, de la production de biogaz ou de l'utilisation en tant qu'amendement agricole. De plus, une connaissance approfondie de leur composition aide à anticiper et à gérer les impacts environnementaux associés à leur élimination ou à leur traitement.

La composition précise des boues varie en fonction de divers facteurs tels que l'origine des eaux usées, la saison et le processus de traitement dans la station d'épuration (Werther et Ogada 1999). Ces boues résiduelles représentent essentiellement une matière première composée de divers éléments, notamment de matière organique, d'éléments fertilisants tels que l'azote et le phosphore, ainsi que de traces de métaux, de composés organiques et d'agents pathogènes.

#### 1.1.1.1.1 Matière organique

La concentration en matière organique peut fluctuer considérablement, allant de 30 à 80 %. Cette matière organique présente dans les boues est composée de divers éléments, notamment des particules éliminées par gravité dans les boues primaires, des lipides (représentant de 6 à 19 % de la matière organique), des polysaccharides, des protéines et des acides aminés (pouvant aller jusqu'à 33 % de la matière organique), de la lignine, ainsi que des produits de métabolisme et des organismes microbiens résultant des processus biologiques de traitement tel que la digestion (Jarde et al. 2003). La composition et la concentration de la matière organique influencent la biodégradabilité des boues, ce qui est essentiel pour déterminer les méthodes de traitement les plus appropriées.

#### 1.1.1.1.2 Eléments fertilisants et amendements

En fonction de la quantité appliquée, les boues peuvent partiellement ou entièrement répondre aux besoins des cultures en azote, phosphore, magnésie, calcium et soufre, voire corriger les

carences existantes (Zebarth et al. 2000). De plus, les éléments traces tels que le cuivre, le zinc, le chrome et le nickel présents dans les boues sont également essentiels au développement des végétaux et des animaux.

### **1.1.1.1.3 Contaminants chimiques inorganiques et organiques**

Les métaux essentiels au développement des plantes et des animaux, tels que le cuivre, le zinc, le chrome et le nickel, peuvent devenir toxiques en cas de surdose (Cripps et al. 1992). De même, le cadmium et le plomb présentent un risque toxique potentiel (Mcbride 2003). Par ailleurs, les boues contiennent souvent une variété de polluants organiques tels que les HAP, les phtalates et les PCB, généralement à des concentrations de l'ordre du microgramme par kilogramme de matière sèche (Pérez et al. 2001). La nature et la quantité des polluants organiques et inorganiques dans les eaux usées dépendent largement des activités humaines raccordées au système d'assainissement. Les rejets industriels constituent la principale source de contamination chimique, suivis par les rejets domestiques (utilisation de solvants, déchets de bricolage, etc.). Ces contaminants chimiques se retrouvent fortement concentrés dans les boues après leur traitement en raison de leur décantation (Klöpffer 1996).

### **1.1.1.1.4 Les micro-organismes pathogènes**

Les boues renferment une multitude de micro-organismes vivants qui jouent un rôle crucial dans les processus d'épuration. Seule une petite fraction de ceux-ci est pathogène, comprenant des virus, des bactéries, des protozoaires, des champignons et des helminthes, principalement issus des déjections humaines ou animales (Sahlström et al. 2004). La présence de germes pathogènes dans les eaux usées varie en fonction du secteur d'activité d'origine.

### **1.1.1.2 Les différentes filières de traitement des boues**

Les boues résiduaires, généralement liquides et riches en matière organique facilement fermentescible, posent de multiples défis techniques lors de leur gestion, quel que soit leur devenir final. Leur transport et leur stockage sont souvent source de difficultés pratiques et d'odeurs désagréables. Ainsi, dès la mise en place d'une station d'épuration des eaux usées (STEP), le choix d'une méthode de traitement appropriée est crucial.

Le traitement des boues vise principalement deux objectifs :



- La stabilisation, visant à prévenir ou réduire les problèmes de fermentation et les nuisances olfactives. Cette stabilisation peut être réalisée de manière biologique par compostage aérobie ou méthanisation anaérobie, ou chimique par chaulage ou autres traitements (Office International de l'Eau, 2001). La stabilisation biologique présente l'avantage de limiter les changements ultérieurs dans la composition des boues.
- La déshydratation et la concentration des boues ont pour but de réduire leur volume (qui est généralement composé à plus de 97 % d'eau) en les épaisissants et/ou en les déshydratants, facilitant ainsi leurs manipulations, leurs transports et leurs stockages.

### 1.1.1.2.1 La mise en décharge contrôlée

La méthode de mise en décharge contrôlée consiste à l'enfouissement des boues, souvent mélangées à des déchets ménagers, tout en suivant des directives précises : compacter les résidus, assurer l'étanchéité du site, collecter et traiter les jus de décharge (lixiviats), et mettre en place une infrastructure et une gestion appropriée du site (El-Fadel et Khoury 2000). Avant d'être déposées en décharge, les boues doivent être préalablement stabilisées et déshydratées. Cependant, malgré ces précautions, cette méthode présente des inconvénients écologiques significatifs. Elle contribue non seulement à la perte de matières organiques qui pourraient enrichir le sol, mais elle génère également des gaz toxiques comme le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), et les dioxines (Nammari et al. 2004). Ces substances sont soumises à des réglementations strictes en raison de leur impact environnemental.

### 1.1.1.2.2 L'incinération

Elle réalise la destruction de la matière organique des déchets par combustion à haute température, généralement supérieure à 500 °C. Ce procédé génère des fumées et des matières minérales résiduelles nommées cendres. Dans l'objectif d'une valorisation énergétique des déchets, la chaleur produite est récupérée sous forme de vapeur ou d'électricité pour le fonctionnement du four lui-même, pour le chauffage urbain ou industriel (Prévot 2000). Les résidus de l'incinération (mâchefer) sont utilisables pour les travaux publics (Werther et Ogada 1999).

### 1.1.1.2.3 Utilisation agricole des boues

L'usage agricole des boues résiduares représente une méthode de recyclage efficace qui aide à rétablir les cycles biogéochimiques (C, N, P, etc.), contribuant ainsi à la préservation de l'environnement et offrant des avantages économiques significatifs. Cette approche vise à préserver les ressources naturelles en évitant tout gaspillage de matière organique par incinération ou enfouissement dans les décharges (Lambkin et al, 2004).

En substituant ou en réduisant l'utilisation excessive d'engrais coûteux, les boues résiduares jouent un rôle crucial dans la fertilisation des sols.

## 1.1.2 Généralités sur le compostage

### 1.1.2.1 Définition du compostage

Plusieurs auteurs proposent différentes définitions du compostage (Mustin 1987), mais ils s'accordent tous sur le principe fondamental suivant :

Le compostage est un processus contrôlé de dégradation des composants organiques d'origine végétale et animale par une série de communautés microbiennes se développant dans des conditions aérobies. Ce processus entraîne une augmentation de la température et aboutit à la formation d'une matière organique humifiée et stabilisée. Le produit final est appelé compost riche en matière organique.

Son principe peut être illustré comme indiqué dans la figure ci-dessous :

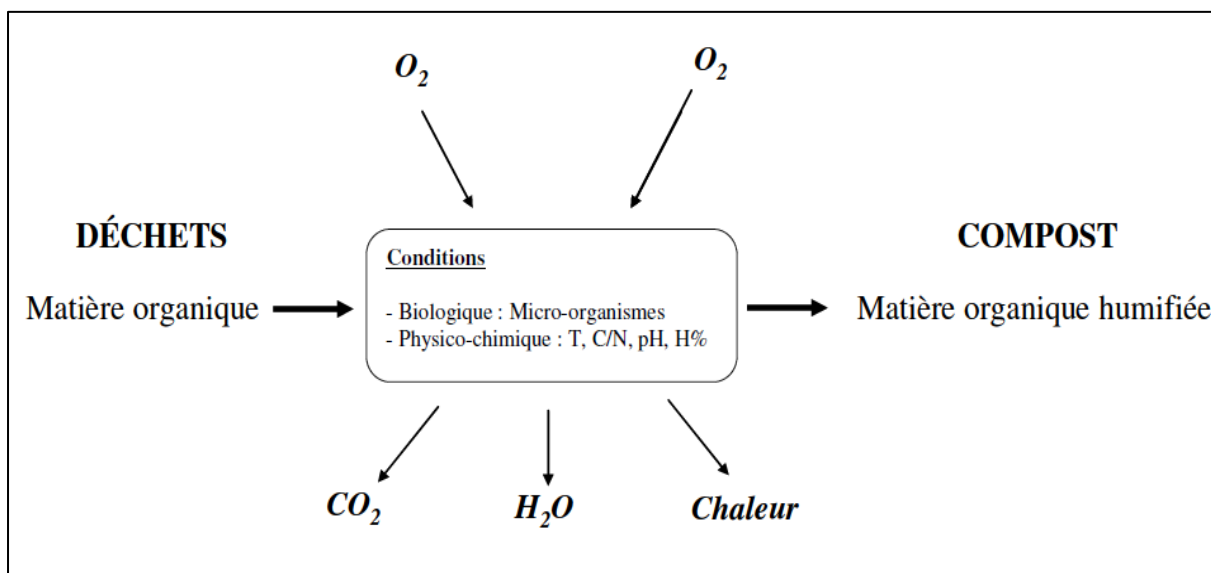


Figure 1: Processus de compostage (Charnay, 2005)

### 1.1.2.2 Définition du compost

Le compost est le produit résultant du compostage. Il existe plusieurs définitions du compost, et sa nature complexe rend sa compréhension difficile. Les produits du compostage varient selon que l'on considère les processus naturels de transformation et les réactions biochimiques observées, ou bien la manipulation technique humaine de ce processus.

D'après Mustin (1987) Il s'agit d'un matériau biologique issu de la décomposition des composants organiques des résidus.

Pour Znaïdi (2002), le compost est le produit de la décomposition et de la transformation contrôlée des déchets organiques biodégradables d'origine végétale et/ou animale, facilitée par diverses populations microbiennes qui opèrent dans un environnement aérobie.

De plus, le terme « compost » dérive du latin « Compositus », signifiant « composé de plusieurs éléments »(Znaïdi 2002).

### 1.1.2.3 Les phases du compostage

Le processus de compostage se déroule en deux phases distinctes : la fermentation et la maturation. La première étape, la fermentation, implique une décomposition rapide de la matière organique fraîche et facilement biodégradable en molécules moins complexes, telles que les sucres ou les polymères. Cette étape réduit considérablement le volume des déchets.

La seconde phase, plus lente, laisse place aux processus d'humification. C'est à ce stade que la matière se transforme progressivement en humus, un amendement riche en éléments nutritifs pour le sol.

#### 1.1.2.3.1 La phase de fermentation

La phase de fermentation constitue le moteur du compostage, permettant l'amorce de la décomposition de la matière organique. Une armée de micro-organismes s'attaque aux éléments les plus faciles à décomposer : sucres, acides aminés, acides organiques, peptides. Ces derniers sont alors transformés en CO<sub>2</sub>, eau et énergie, nourrissant ainsi la prolifération microbienne. La température peut grimper jusqu'à 65 à 70°C, tandis que les micro-organismes consomment de grandes quantités d'oxygène pour alimenter leur activité. Par conséquent une aération régulière du compost est cruciale durant cette phase pour assurer l'apport en oxygène nécessaire à la fermentation. Cette phase s'achève généralement lorsque la température du compost redescend, indiquant une stabilisation de l'activité microbienne (Jouraiphy 2007).

#### 1.1.2.3.2 La phase de maturation

Pendant cette phase, la température diminue progressivement jusqu'à atteindre la température ambiante, généralement entre 15 et 25°C. À ce stade, les champignons et les actinomycètes deviennent actifs, s'attaquant aux composés plus résistants à la décomposition comme la

cellulose et la lignine. De plus, cette étape est marquée par l'apparition de vers de terre et d'insectes colonisant le compost, comme mentionné par (Michaud 2007).

## 1.1.2.4 Les paramètres du compostage

### 1.1.2.4.1 La température

Suivre l'évolution de la température du compost révèle l'intensité de la dégradation aérobie. En effet, la température ambiante influence grandement l'activité des micro-organismes responsables de cette dégradation.

Chaque groupe de micro-organismes impliqué dans le compostage a sa préférence en matière de température (Mustin 1987) :

- **Psychrotrophes** : Ces micro-organismes peu exigeants se contentent de températures fraîches, inférieures à 20°C. Leur contribution à la dégradation de la matière organique reste limitée.
- **Mésophiles** : Ces acteurs majeurs du compostage s'épanouissent dans une zone de température tempérée, comprise entre 20 et 40°C. Ils assurent la majeure partie de la dégradation de la matière organique.
- **Thermophiles** : Amateurs de chaleur intense, ces micro-organismes ne s'activent qu'à des températures élevées, situées entre 40 et 70°C. Ils jouent un rôle crucial en début de compostage, lorsque la température monte rapidement, en contribuant à l'élimination des agents pathogènes (Tableau 1). A 60°C, la plupart des bactéries et des champignons pathogènes de même que les graines de plantes adventices sont détruits (Michaud 2007).

Tableau 1: Température et durée d'exposition nécessaire à la destruction de pathogènes (Bustamante et al. 2008).

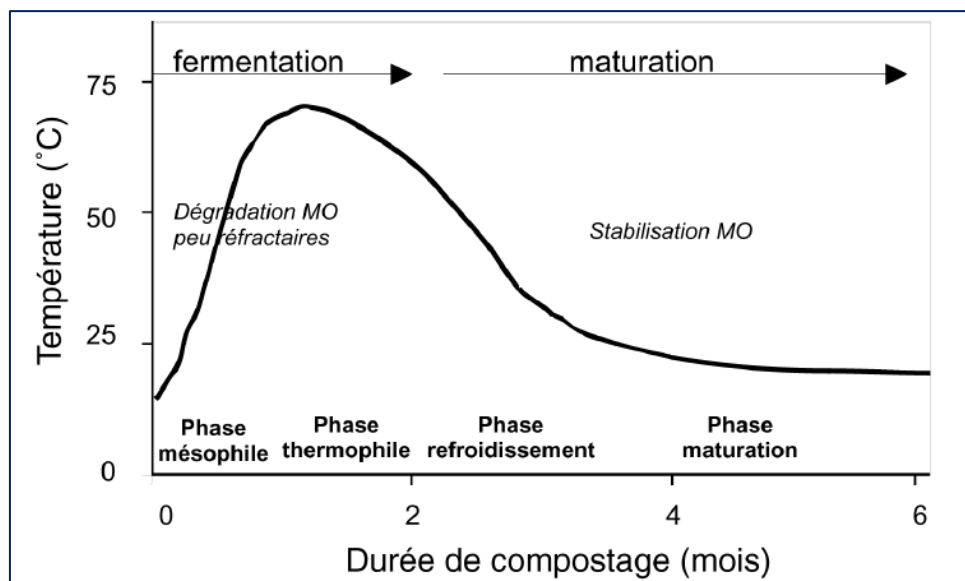
Type de micro-organismes	Température et durée nécessaire à sa destruction
<i>Ascaris lumbricoides</i>	4h à 60 °C à 65 °C
<i>Salmonella spp</i>	15-20 min à 60° C ou 1h à 55 ° C
<i>Escherichia coli</i>	15-20 min à 60° C ou 1h à 55 ° C
<i>Taenia saginata</i>	5 min à 71 °C
<i>Shigella spp</i>	1h à 55 °C

Au début du compostage, les micro-organismes mésophiles prennent le relais, faisant grimper la température de 25,1°C à 30,2°C environ dix jours après le démarrage (Figure 2). Cette hausse de température résulte directement de l'oxydation de la matière organique présente dans les substrats. Ce processus libère l'énergie contenue dans les liaisons chimiques des molécules constitutives de la matière organique (Ryckeboer et al. 2003).

L'intense activité des micro-organismes propulse la température du compost jusqu'à 64,3°C, un pic atteint vers le 20e jour et qui se maintient pendant environ six jours. Cette phase favorable permet l'installation des micro-organismes thermophiles et thermotolérants.

Cependant, la phase de maturation qui succède à la phase thermophile se caractérise par une chute progressive de la température (Figure 2). Les pertes de chaleur par échange avec l'environnement extérieur et la diminution des éléments nutritifs en sont les principales causes. Au bout de 60 jours de compostage, la température se rapproche de celle de l'air ambiant, aux alentours de 25,2°C.

L'évolution de la température est influencée par la fermentescibilité du pouvoir calorifique, l'humidité initiale, le rapport C/N, le pH et la masse mise en compostage (Jouraiphy 2007).



**Figure 2:** Courbe théorique d'évolution de la température au cours du compostage (Francou, 2003)

#### 1.1.2.4.2 Le rapport C/N

Un rapport C/N optimal se situe généralement entre 25 et 30 :1. Cela signifie que pour 25 à 30 parties de carbone, il doit y avoir 1 partie d'azote. Ce ratio permet aux micro-organismes responsables de la dégradation de la matière organique de trouver les nutriments dont ils ont besoin dans des proportions adéquates pour fonctionner de manière optimale (El-mrini et al. 2022)

Un rapport C/N supérieur à 30:1 perturbe le processus de compostage en :

- **Ralentissant considérablement la dégradation de la matière organique** à cause de la difficulté des micro-organismes à trouver l'azote nécessaire à leur croissance et à leur activité ;
- **Limitant la production d'ammoniac**, élément crucial pour la neutralisation des acides et l'augmentation du pH, affectant ainsi la qualité du compost final ;
- **Favorisant l'apparition d'odeurs désagréables** dues à la production de composés malodorants comme le méthane et l'acide sulfhydrique (El-mrini, et al. 2022).

Un rapport C/N inférieur à 20 :1 peut causer des problèmes importants lors du compostage

:

- **Dégradation rapide et incomplète de la matière organique** : La décomposition trop rapide de la matière organique, due à un excès d'azote, peut entraîner une perte d'azote sous forme d'ammoniac volatil, ce qui diminue la richesse nutritive du compost final.
- **Production excessive d'ammoniac** : Un surplus d'azote peut engendrer une production excessive d'ammoniac, rendant le compost toxique pour les plantes et augmentant excessivement le pH du compost.
- **Apparition d'odeurs désagréables** : L'excès d'azote favorise la production de composés malodorants, comme l'ammoniac et les amines, rendant le compost désagréable à utiliser (El-mrini, et al., 2022).

Ainsi un rapport C/N déséquilibré (Tableau 2) peut perturber le compostage. Pour l'ajuster, il faut ajouter des matériaux riches en azote (fumier frais, tonte de gazon, déchets verts), si le rapport est trop élevé, ou ajouter des matériaux riches en carbone (paille, copeaux de bois, feuilles sèches) s'il est trop bas. C'est le cas des boues d'épuration de STEP, qui ne sont pas compostables seules à cause d'un rapport trop faible carbone/azote (C/N), et de l'absence d'élément structurant.

**Tableau 2:** Rapport C/N de divers substrats (Mustin, 1987)

Matières	Rapport C/N
Urines	0.8
Gazon coupé	12
Tabac	13
Légumes	12-30
Ordures ménagères	25
Papiers- cartons	70
Branches arbres	70
Paille de blés	128
Sciure de bois	200

### 1.1.2.4.3 L'humidité

L'efficacité du compostage repose en grande partie sur la gestion de l'humidité du substrat. En effet, la teneur en eau (H%) conditionne directement l'activité des micro-organismes responsables de la décomposition de la matière organique. L'idéal se situe entre 40% et 60%. Une teneur en eau trop faible (inférieure à 20%) freine, voire stoppe, la décomposition de la matière organique. En revanche, si elle dépasse les 70%, elle commence à saturer les vides



dans le substrat, bloquant ainsi l'oxygène et favorisant des conditions anaérobies (Charnay 2005).

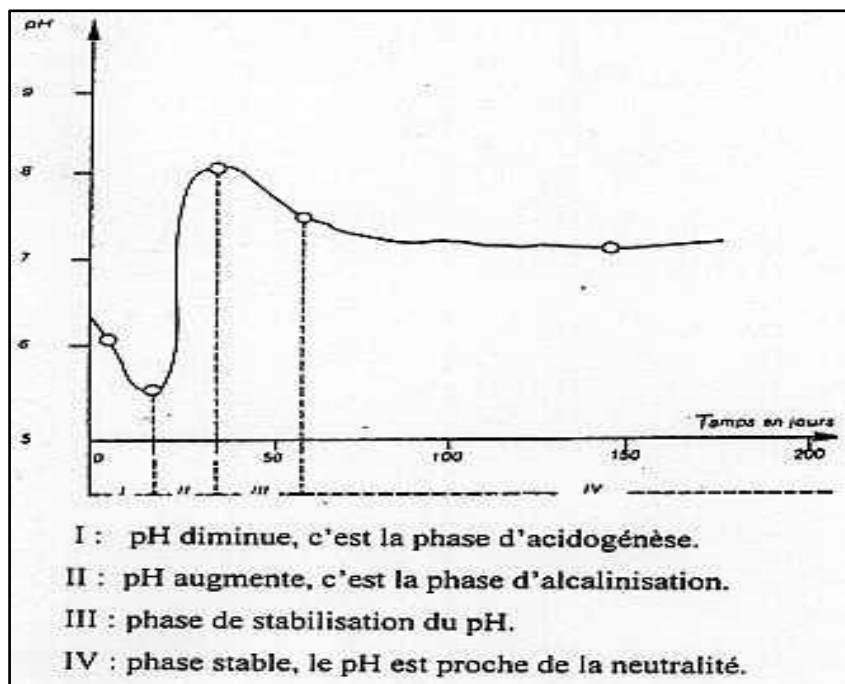
Aussi l'humidité est sensible à deux phénomènes aux effets opposés : d'une part la libération de molécules d'eau suite à la dégradation de la matière organique et d'autre part la formation de vapeur sous l'effet de la chaleur produite par la fermentation (Charnay 2005).

### 1.1.2.4.4 Le pH

Le processus de compostage se distingue par trois phases distinctes (Figure 3) en ce qui concerne l'évolution du pH (Mustin 1987) :

- **Phase acidogène (20 jours) :** Au cours des 20 premiers jours, le pH diminue considérablement pour atteindre un niveau acide d'environ 5,4. Cette phase est caractérisée par une production intense d'acides organiques par les microorganismes décomposant les matières organiques.
- **Phase de neutralité (40e jour) :** Vers le 40e jour, le pH remonte rapidement vers la neutralité, indiquant une consommation des acides organiques produits lors de la phase acidogène.
- **Phase d'alcalinisation (après le 50e jour) :** Au-delà du 50e jour, le pH dépasse la neutralité et s'alcalinise, atteignant des valeurs autour de 7,8. Cette phase est due à la libération d'ammoniac et d'autres composés basiques par les microorganismes lors de la dégradation des protéines.

La plage de pH optimale pour le compostage varie généralement entre 6 et 8. Ce pH favorise l'activité des micro-organismes responsables de la décomposition de la matière organique (Jouraiphy 2007).



**Figure 3:** Courbe de variation du pH au cours du compostage (Mustin 1987)

#### 1.1.2.4.5 L'oxygène

Le compostage est un processus aérobie où l'oxygène joue un rôle crucial. Non seulement il est essentiel pour le métabolisme et la respiration des bactéries aérobies, mais il est également nécessaire pour l'oxydation des matières organiques. Le niveau d'oxygène minimum requis dans le compost en décomposition se situe entre 5 et 10% (Bromblet et Somaroo 2015).

Au cours de la métabolisation, la concentration en oxygène diminue tandis que celle en  $\text{CO}_2$  augmente. Si l'oxygène descend en dessous d'un certain seuil, cela déclenche des processus de fermentation anaérobie. Ainsi, une bonne aération de la matière compostée est essentielle (Culot et Lebeau 1999).

Une aération excessive est nuisible car elle provoque des pertes de chaleur et d'humidité trop importantes, ce qui affecte le métabolisme des micro-organismes et ralentit, voire stoppe complètement le processus de compostage (Culot et Lebeau 1999).

#### 1.1.2.4.6 Aspect microbiologique du compostage

Les micro-organismes, notamment les bactéries, les champignons et les actinomycètes, jouent un rôle essentiel dans le processus de décomposition de la matière organique (Michaud 2007).

Les bactéries, en particulier, sont les premières à s'attaquer à la matière organique, représentant 80 à 90% de l'activité microbienne lors du compostage.

Les champignons et les moisissures sont moins résistants aux températures élevées et à une teneur élevée en eau, devenant principalement actifs pendant la phase de maturation du compost, où ils dégradent les polymères complexes. Quant aux actinomycètes, ils apparaissent principalement lors des phases thermophiles et de maturation du processus de compostage (Paillat 2008).

### 1.1.2.5 Maturité et stabilité du compost

Deux grandes approches existent dans la littérature pour aborder la notion de maturité du compost :

La première approche s'appuie sur la définition même de la maturité : un produit est considéré comme "mûr" lorsqu'il a atteint son "développement complet". Dans cette optique, un compost est considéré comme mûr lorsque sa matière organique présente une stabilité optimale. Cette condition est à la fois nécessaire et suffisante, ce qui signifie que tout compost stable est par définition mûr. Ainsi, Le degré de maturité du compost est donc évalué en analysant la biodégradabilité de sa matière organique.

Une autre approche considère la maturité du compost du point de vue de son impact sur les plantes. Selon cette perspective, un compost mûr est celui dont l'utilisation n'a aucun effet néfaste sur la croissance végétale. Cette approche fait une distinction entre le compost stable et le compost mûr : bien qu'un compost stable présente une matière organique stabilisée, il peut encore contenir des éléments nuisibles aux plantes. En revanche, un compost mûr, possède une matière organique stabilisée et n'exerce aucun effet inhibiteur sur la croissance végétale. La stabilité de la matière organique est donc une condition nécessaire mais non suffisante pour la maturité du compost. Dans cette approche, l'indicateur le plus fiable de la maturité du compost est son impact sur les plantes (Francou 2003).

#### 1.1.2.5.1 Les indicateurs empiriques

Une première évaluation, dite sensorielle, peut être utilisée pour déterminer le niveau de maturité du compost. Sa couleur doit être semblable à celle du terreau, et il ne doit dégager aucune odeur désagréable. La température du compost en fin de processus doit être stable et

proche de la température ambiante extérieure, sans dépasser 35°C. Au toucher, sa texture doit être friable.

Pour confirmer ces observations initiales, il est recommandé de compléter ces tests par des analyses plus précises en laboratoire (Charnay 2005).

### 1.1.2.5.2 Les indicateurs chimiques

La plupart des recherches sur la maturation des composts s'appuient sur l'évolution des paramètres physico-chimiques globaux tels que le pH, le rapport C/N, le rapport N-NO<sub>3</sub>-/N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, et la capacité d'échange cationique (CEC)....

Les composts immatures se distinguent par leur pH acide, tandis que les composts matures affichent un pH proche de la neutralité ou plus élevé, généralement situé entre 7 et 9 (Avnimelech et al. 2013).

Le rapport carbone/azote (C/N) est le critère le plus fréquemment utilisé pour évaluer la maturité d'un compost. Il peut être mesuré aussi bien dans la phase solide que dans la phase liquide en étant mis en contact avec de l'eau. Un rapport C/N inférieur à 12 dans la phase solide est généralement considéré comme un indicateur de maturité pour le compost (Iglesias Jiménez et Perez Garcia 1989).

La qualité du compost est également évaluée en surveillant les niveaux d'azote. En effet, les micro-organismes nitrifient le substrat, ce qui se traduit par une diminution de la concentration en ammonium ([NH<sub>4</sub><sup>+</sup>]) et l'apparition d'ions nitrate. D'après les recherches de El Fels (2014), le rapport [NH<sub>4</sub><sup>+</sup>]/ [NO<sub>3</sub><sup>-</sup>] ne devrait pas dépasser 0,16 dans le cas d'un compost mature.

La capacité d'échange cationique (CEC) désigne la quantité maximale de cations qu'une matrice peut adsorber. Le compost des déchets urbains est mature lorsque la CEC dépasse 60-67 meq/100g (Saharinen 1998).

### 1.1.2.5.3 Indicateurs biologiques et microbiologiques

Il existe une variété de tests biologiques pour évaluer le degré de maturité du compost. Certains sont centrés sur la détection des diverses formes de matière organique présentes dans le compost, tandis que d'autres évaluent les effets néfastes sur les plantes, connus sous le nom de tests de phytotoxicité. Une dernière catégorie de tests repose sur la mesure de l'activité

respiratoire des micro-organismes dans le compost, en évaluant la quantité d'oxygène consommée ou de dioxyde de carbone produite (Charnay 2005).

# *Chapitre 2 : Matériel et méthodes*

### 1.2.1 Objectif de l'étude

L'objectif de ce travail est de déterminer les paramètres physicochimiques et l'aspect microbiologique des boues d'épuration et des déchets ménagers en vue de la préparation des proportions optimales pour le démarrage du compost.

### 1.2.2 Matériels d'étude

#### 1.2.2.1 Les boues d'épuration

Les boues utilisées dans cette étude proviennent de la station d'épuration des eaux usées Oued Athmania, située dans la Wilaya de Mila. Cette station, conçue pour traiter les eaux usées domestiques et pluviales des communes d'Oued Athmania et Chalghoum Laid, est de type boues activées à faible charge. Elle est localisée dans le sud-est de la ville d'Oued Athmania sur la route N5a.

Cette station couvre une superficie de 6 hectares, avec une capacité de traitement de 45.000 équivalents habitants et un débit de 9.000 m<sup>3</sup> par jour. Après traitement, les eaux épurées sont rejetées dans l'Oued Rhumel, qui alimente le Barrage de Beni Haroun.



Photo 1 : Collecte des boues d'épuration

#### 1.2.2.2 Les déchets verts

Les déchets verts ont été collectés dans le marché de vente en gros de fruits et légumes Oued Athmania, wilaya de Mila (Photo 2). Les déchets collectés sont ensuite séchés au soleil pendant deux semaines puis broyés (Photo 3 et 4).





Photo 2 : Collecte des déchets verts



Photo 3 : Séchage des déchets verts



Photo 4 : Broyages des déchets verts



### 1.2.3 Méthode d'étude

#### 1.2.3.1 Les analyses physico-chimiques

Les analyses physico-chimiques effectuées sont l'humidité, le pH, Conductivité électrique (CE), l'azote totale, la matière organique, le pourcentage en carbone et matière organique ainsi que le rapport (C/N).

##### 1.2.3.1.1 Mesure du pH

Un échantillon de 10g est préparé pour l'analyse dans un bécher de 100 ml auquel sont ajoutés 25 ml d'eau distillée. Après agitation avec un agitateur magnétique pendant une heure, l'échantillon est totalement mis en suspension, atteignant un équilibre entre la phase solide et liquide. La suspension est ensuite laissée à reposer pendant deux (02) heures, à l'abri de l'air, avant de mesurer le pH à l'aide d'un pH mètre étalonné (Figure 8).



Photo 5 : Mesure du pH

##### 1.2.3.1.2 Mesure de la Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique (CE) est mesurée à l'aide d'un conductimètre et exprimée en millisiemens par centimètre (mS/cm), conformément à la norme internationale qui spécifie sa méthode de mesure. Pour ce faire, 10 g de l'échantillon sont dissous dans 50 ml d'eau distillée, ce qui correspond à un rapport d'extraction de 1/5 pour dissoudre les électrolytes. La sonde du conductimètre est placée dans la solution pour mesurer la valeur de la conductivité électrique (Figure 9).



Photo 6 : Mesure de la conductivité électrique

### 1.2.3.1.3 L'humidité

La teneur en eau est déterminée par une perte de poids, en procédant à une dessiccation des prises d'essai de masse connue à une température de 105°C dans une étuve. Ce processus permet d'évaporer l'eau jusqu'à obtenir un poids constant (Baeta-Hall et al. 2005).

La teneur en eau est donnée par la formule suivante :

$$H (\%) = \frac{M1 - M2}{P} \times 100$$

Où :

M1 : la masse de la capsule + matière fraîche avant étuvage (g) ;

M2 : la masse de la capsule + matière fraîche après étuvage (g) ;

P : la masse de la prise d'essai (g).

### 1.2.3.1.4 Azote Total (Méthode de KJELDAHL)

Principe

Le principe de la méthode est basé sur la conversion de l'azote organique en sulfate d'ammonium sous l'action de l'acide sulfurique (concentré et à chaud) en présence d'un catalyseur. Le sulfate d'ammonium récupéré est distillé sous forme d'ammonium et dosé par titrage.

Dans un matras, sont introduits 0.2g de l'échantillon et 0.2 g de catalyseur (sulfate de cuivre), puis on ajoute 10 ml d'acide sulfurique concentré (95 - 97%). Le contenu du matras est ensuite agité et placé sur le dispositif de chauffage (BUCHI/Digest Automat.) préalablement réglé à une température de 400C° pendant 6 heures. La minéralisation est terminée quand la solution devient limpide de couleur verdâtre. L'ajout de 50 ml de lessive de soude à 35% et 50ml d'eau distillée est effectuée dans le matras après refroidissement du minéralisât.

L'étape de distillation est réalisée dans un distillateur semi-automatique (BUCHI/Distillation Unit,) où le dégagement d'ammoniac est récupéré dans une fiole de 100 ml contenant 25ml d'acide borique à 4% et l'indicateur coloré (indicateur de Tashiro). L'excès d'ammoniac est alors neutralisé par l'acide sulfurique 0.05 N. Le blanc est réalisé dans les mêmes conditions sans échantillon.

La teneur en azote total est déterminée par la formule suivante :

$$\%Nitrogen = \frac{(T - B) \times 14.007 \times N}{P} \times 100$$

Avec :

T : volume de l'acide sulfurique lu après titrage de l'échantillon (ml).

B : volume de l'acide sulfurique dépensé pour le titrage du blanc (ml).

N : normalité de l'acide sulfurique.

P : poids de l'échantillon en mg.

#### **1.2.3.1.5 La teneur en carbone**

LA méthode utilisé est l'analyse par combustion, elle consiste à calciner 5g de l'échantillon (boues et déchets verts) que ce soit frais ou séché à 550°C pendant 6h dans un four à moufle jusqu'à obtention de cendre blanchâtres de poids constant (Baeta-Hall et al. 2005).

La perte de masse observée est attribuée à la matière organique. Le poids de matière organique est obtenu par différence entre le poids total et le poids de cendres. Le pourcentage de la matière organique MO est donné par la formule suivante :

$$MO (\%) = \frac{(M1 - M2)}{P} \times 100$$

Où :

M1 : la masse de la capsule + prise d'essai (g) ;

M2 : la masse de la capsule + cendres (g) :

P : masse de la prise d'essai (g).

Pour une estimation du carbone dans les boues d'épuration, il convient d'utiliser un facteur de conversion approprié basé sur l'analyse spécifique des échantillons. Des rapports de 0,45 à 0,58, sont souvent utilisées pour représenter le pourcentage de carbone dans la matière organique des boues d'épuration.

Dans la littérature (Vikman et al. 2002), un facteur de conversion standard de 0,50 (ou 50 %) est souvent utilisé pour estimer le carbone organique à partir de la matière organique des boues.

$$\text{Carbone} = \text{Matière organique} \times 0,50$$

Ce facteur de 0,50 est une approximation qui suppose que la matière organique des boues d'épuration se compose d'un mélange équilibré de composés organiques, dont la moitié environ est constituée de carbone. Ce rapport peut cependant varier en fonction des procédés de traitement des boues, des sources de contamination et des méthodes d'analyse employées.

Pour une estimation plus précise, il est préférable d'utiliser une analyse directe du carbone organique



Photo 7 : Calcination des échantillons

### 1.2.3.1.6 Le rapport C/N

La variation du rapport C/N est fréquemment utilisée comme un indicateur de la qualité de la dégradation d'un substrat organique solide pendant la fermentation. Ce rapport est calculé à partir des valeurs du carbone organique mesuré par oxydation et de l'azote N mesuré par la méthode KJELDAHL (Charnay 2005).

### 1.2.3.2 Analyses microbiologiques

#### 1.2.3.2.1 Recherche et dénombrement de la flore mésophile totale

##### Mode opératoire

A partir des dilutions décimales successives ( $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$  et  $10^{-5}$ ), prendre aseptiquement 01ml et le mettre dans une boîte de pétri vide stérile, compléter ensuite avec 19ml de gélose nutritive GN préalablement pré fondue puis refroidie à 45°C, puis agiter lentement par un mouvement circulaire et de va et vient.

Incubation :

- Incuber la première série à 37°C pendant 72 heures avec la lecture à 24 heures, 48 heures, 72 heures.
- Incuber la deuxième série à 25°C pendant 72 heures avec la lecture à 24 heures, 48 heures, 72 heures.

Lecture : Dénombrer toutes les colonies lenticulaires.

Remarque : Ne dénombrer que les boîtes contenant plus de 10 colonies et moins de 300 colonies.

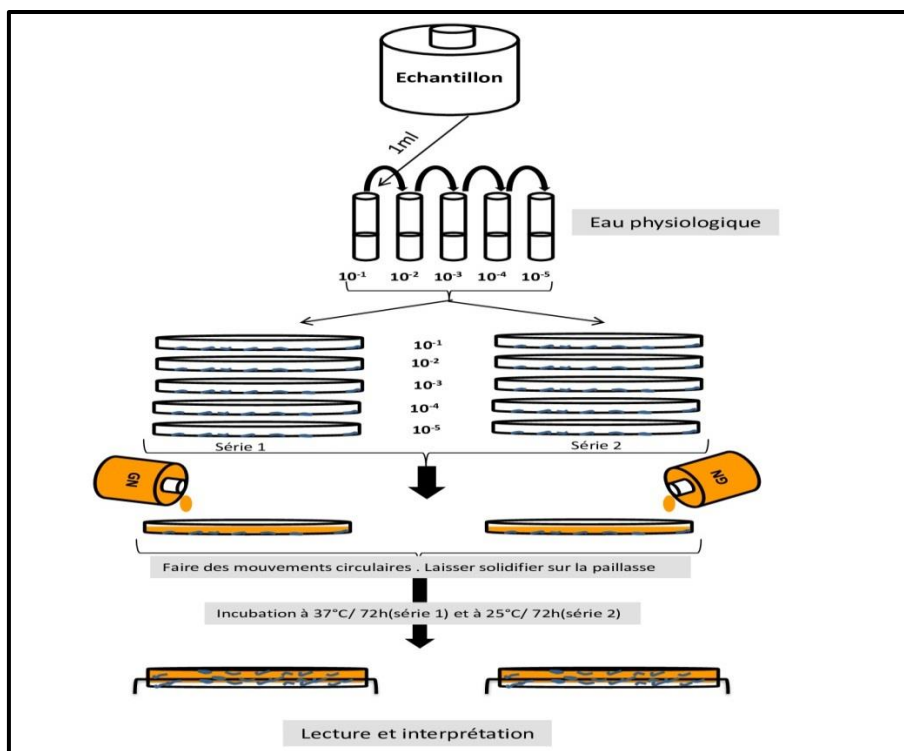


Figure 4: Protocole de recherche et dénombrement des germes totaux

### 1.2.3.2.2 Recherche et dénombrement des coliformes fécaux

Les coliformes totaux sont des bactéries bacillaires à Gram négatif, non sporulé, oxydase négative, et peuvent survivre en milieu aérobie ou anaérobie. Leur multiplication optimale se fait à  $37^{\circ}\text{C}$  en 24 heures. La recherche des coliformes est cruciale car ils sont largement présents dans les excréments des animaux à sang chaud et de ce fait constituent des indicateurs de première importance (Duffour et al. 1977). Les termes « coliformes fécaux » ou « coliformes thermotolérants » désignent des coliformes qui exhibent les mêmes caractéristiques que les coliformes totaux après incubation à  $44^{\circ}\text{C}$  (Rodier et al. 2009). Leur présence dans le rejet ou dans l'eau de pluie est cependant une indication de pollution fécale récente (Chippaux et al. 2002).

La recherche présomptive des coliformes totaux est réalisée sur milieu BCPL (Bouillon lactosé au pourpre de bromocrésol) (Sore et al. 2021). La confirmation des coliformes fécaux sur milieu Schubert avec une cloche de Durham.

#### Mode opératoire

- Teste de présomption

Préparer trois séries de 03 tube de BCPL cloche et les numéroter de la façon suivante :

- La première série de tube de BCPL seraensemencée avec 10ml de la solution mère.
- La-deuxième série de tubes de BCPL seraensemencée avec 01ml de la solution mère.
- La troisième série de tubes de BCPL seraensemencée avec 0.1ml de la solution mère.

**Incubation** : Incuber à 37°C pendant 24 heures

**Lecture** : Après la période d'incubation, les tubes présentant :

- D'une part un dégagement de gaz dans la cloche.
- D'autre part un trouble microbien, sera considéré comme positifs.

Le résultat sera exprimé par le NPP selon la table de **Mac Grady**.

- Teste de confirmation

Coliformes fécaux (E. Coli) chaque tube de BCPL positif, sera repiqué (**03 à 04 gouttes**) sur milieu Shubert.

Cette deuxième série de tubes sera incubée à 44°C pendant 24 heures.

Après cela, ajouter 02 à 03 gouttes du réactif de Kovacs pour voir l'apparition d'un anneau rouge qui témoigne de la production d'indole par les coliformes fécaux (E. Coli).

Les résultats sont exprimés selon la table de Mac Grady.

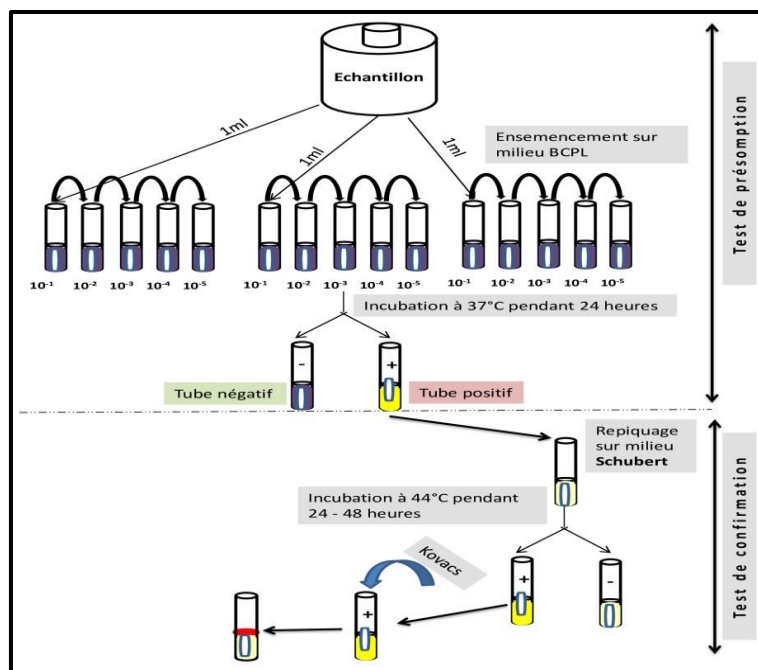


Figure 5: Protocole de recherche et dénombrement des coliformes fécaux

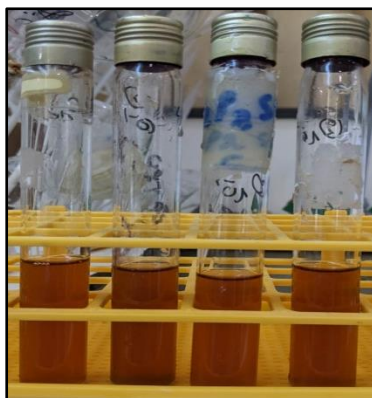


Photo 8 : Tubes positifs (milieu Schubert)

### 1.2.3.2.3 Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux

Plus précisément, il s'agit de streptocoques et d'entérocoques du groupe D d'origine fécale (DELARRAS 2014). Les streptocoques sont généralement peu pathogènes, et les streptocoques fécaux en particulier ont une durée de vie courte dans l'environnement naturel. Leur présence dans le rejet ou dans l'eau de pluie est cependant une indication de pollution fécale récente (Chippaux et al. 2002) étant donné leur habitat typiquement associé aux matières fécales (Rodier Et Al. 2009).



### Mode opératoire

Comme la méthode de recherche des coliformes en milieu liquide, la recherche et le dénombrement des Streptocoques fécaux font appel à deux tests consécutifs :

- **Test de présomption**

Réservé à la recherche des streptocoques fécaux après avoir bien homogénéisé l'échantillon, on réalise cinq dilutions décimales successives ( $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$  et  $10^{-5}$ ) avec trois répétitions par dilution à partir de boues liquides et sèches, en utilisant des tubes de 9 ml de bouillon glucosé à l'azote (Rothe) à simple concentration, on incube les tubesensemencés à 37°C pendant 24 heures. On laisse séjournés pendant 48 heures les tubes qui présentent un résultat négatif).

### Lecture

Les tubes qui présentent un trouble microbien sont considérés comme positifs.

- **Test de confirmation**

Réservé à la confirmation réelle de la présence des streptocoques fécaux du groupe D à partir des tubes positifs du test de présomption, les tubes du milieu Rothe qui présentent un résultat positif font donc l'objet d'un repiquage à l'aide d'un ose bouclé dans des tubes contenant le milieu Evalitsky, l'incubation se fait à 37°C pendant 24 heures

### Lecture

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

- Un trouble microbien ;
- Une pastille violette (blanchâtre) au fond des tubes ;
- Le dénombrement s'effectue selon les prescriptions du tableau du NPP ;

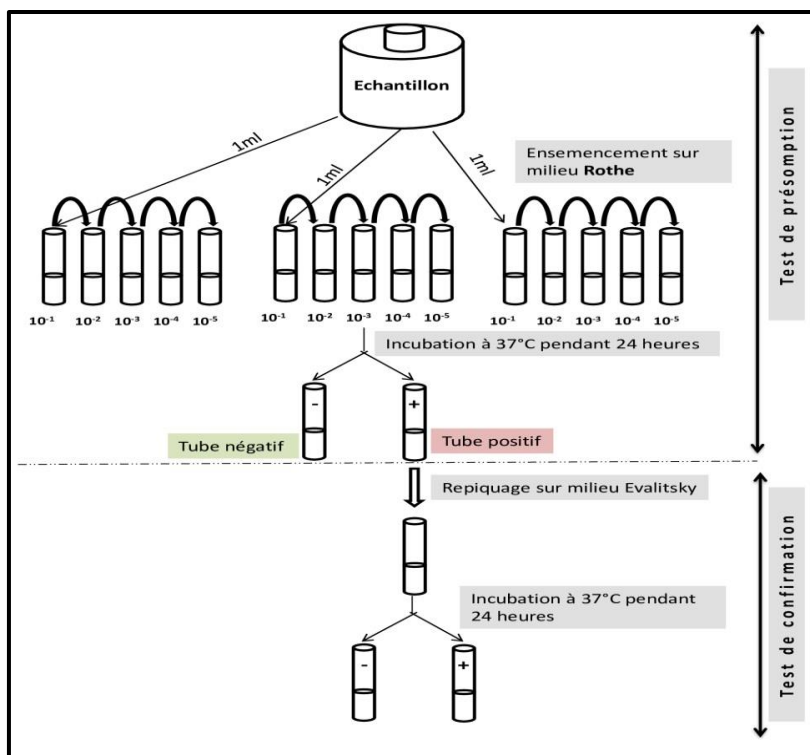


Figure 6: Protocole de recherche et dénombrement des streptocoques fécaux

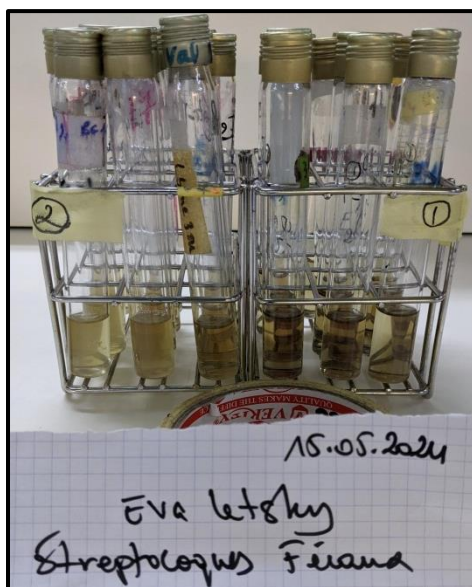


Photo 9: Tubes après incubation

#### 1.2.3.2.4 Recherche des germes pathogènes

##### 1.2.3.2.4.1 Recherche et dénombrement de Clostridium sulfito-réducteur

Les Clostridium sulfito-réducteurs sont des bactéries anaérobies sporulées à Gram positif, appartenant à la famille des Clostridiaceae et au genre Clostridium. Elles possèdent la

capacité de réduire les sulfites en sulfures. Naturellement présentes dans l'intestin des animaux et dans le sol, ces bactéries peuvent contaminer les aliments et l'eau. Leur présence constitue un indicateur significatif de contamination fécale en raison de la longue résistance de leurs spores dans l'environnement (Johnson et al. 2007).

### Mode opératoire

Après l'avoir homogénéisé soigneusement, prendre environ 25 ml d'eau à analyser dans un tube stérile, qui sera par la suite soumis à un chauffage de l'ordre de 80 °C pendant 8 à 10 minutes, dans le but de détruire toutes les formes végétatives des ASR éventuellement présentes.

Après chauffage, refroidir immédiatement le tube en question, sous l'eau de robinet.

Répartir ensuite le contenu de ce tube, dans 4 tubes différents et stériles, à raison de 5 ml par tube.

Ajouter dans chacun d'eux environ 18 à 20 ml de gélose viande foie, fondue puis refroidie à  $45 \pm 1$  °C, additionnée de 1 ml de la solution de sulfite de sodium et 4 gouttes de la solution d'alun de fer.

Mélanger doucement le milieu et l'inoculum en évitant les bulles d'air.

Laisser solidifier sur paillasse pendant 30 minutes environ, puis incuber à 37 °C pendant 24 à 48 heures.

La première lecture doit absolument être faite à 16 heures car très souvent les colonies des ASR sont envahissantes auquel cas on se trouverait en face d'un tube complètement noir rendant ainsi l'interprétation difficile voire impossible et l'analyse sera à refaire en utilisant des dilutions décimales de 10 voire  $10^{-4}$ , la deuxième lecture se fera à 24 heures et la troisième et dernière à 48 heures.

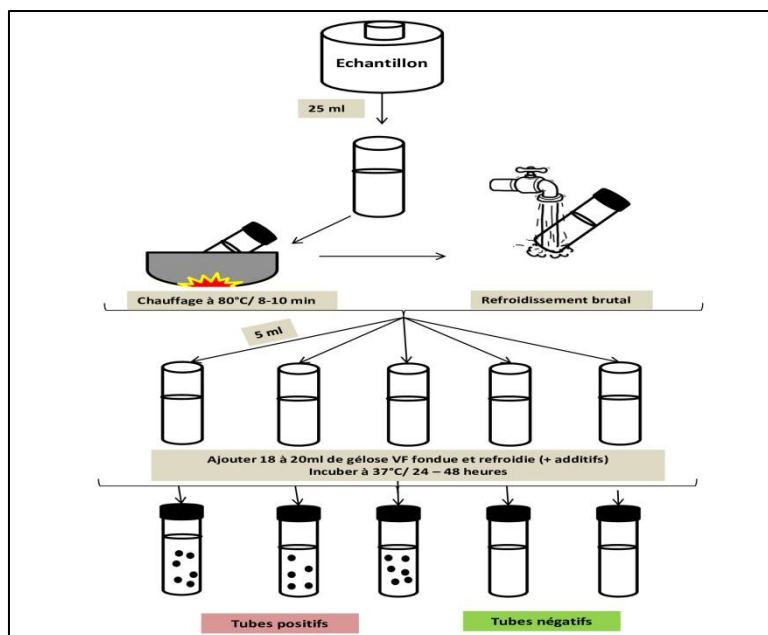


Figure 7: Protocole de recherche des spores des bactéries anaérobies sulfito-réducteurs

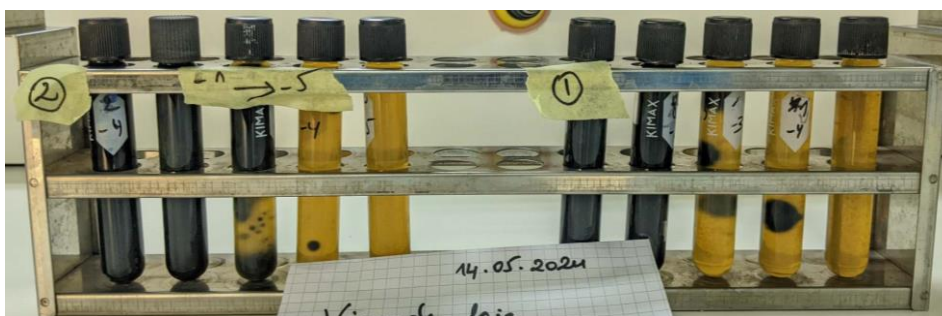


Photo 10 : Tubes après incubation (Milieu de culture : viande foi)

#### 1.2.3.2.4.2 Recherche des vibrions

Les Vibrionaceae sont des bactéries à Gram négatif qui se manifestent sous forme de bacilles droits ou incurvés, très mobiles, avec une oxydase, capables de vivre dans des conditions aéro-anaérobies facultatives. Elles fermentent le glucose sans produire de gaz ni d'H<sub>2</sub>S, et sont reconnues pour leur haute pathogénicité (Pecher et al. 1982)

#### Mode opératoire

Pour détecter les vibrions sur milieu de Mueller-Hinton (MH), les étapes principales comprennent tout d'abord l'enrichissement de l'échantillon (eau, produit de la mer, etc.) dans un milieu d'enrichissement liquide sélectif comme l'eau peptonée alcaline (EPA), suivi d'une incubation à 37°C pendant 6 à 8 heures. Ensuite, après l'enrichissement, l'échantillon est ensemencé sur des boîtes de gélose Mueller-Hinton par étalement et incubé à 37°C pendant

18 à 24 heures. L'identification présomptive des vibrions se fait en examinant l'aspect des colonies sur MH, qui sont généralement transparentes, bleutées, mesurant 2 à 3 mm de diamètre, lisses et convexes. Les vibrions eux-mêmes présentent une apparence transparente sur milieu MH.

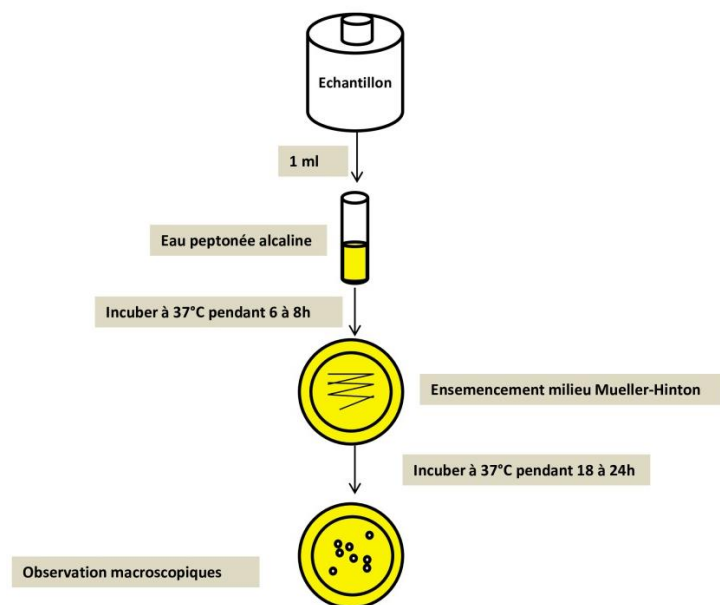


Figure 8: Protocole de recherche des vibrions

### 1.2.3.2.4.3 Recherche de salmonelles

Le genre salmonella se distingue par des bacilles à coloration Gram-négative qui ne forment pas de spores et qui sont principalement anaérobies facultatifs. Ils sont souvent mobiles grâce à des flagelles péritriches. Ces bactéries pathogènes peuvent causer des toxi-infections alimentaires chez les humains et les animaux. Elles résident dans le tractus intestinal des animaux à sang chaud tels que les volailles, les bovins et les porcins, et peuvent contaminer les produits alimentaires d'origine animale. La principale voie de transmission à l'homme est alimentaire, par la consommation d'aliments contaminés tels que les œufs, les viandes et les produits laitiers (Korsak et al., 2004).

#### Mode opératoire

Les étapes principales du test présomptif pour détecter Salmonella sur gélose SS (Salmonella-Shigella) sont les suivantes : tout d'abord, l'enrichissement de l'échantillon (aliment, environnement, etc.) dans un milieu d'enrichissement sélectif comme l'eau peptonée tamponnée, suivi d'une incubation à 35-37°C pendant 18 à 24 heures. Ensuite, après

l'enrichissement, l'échantillon est ensemencé par étalement sur des boîtes de gélose SS et incubé à 35-37°C pendant 18 à 24 heures. L'identification présomptive des colonies suspectes se fait en examinant leur aspect sur gélose SS : elles sont généralement lisses, brillantes, de couleur noire ou rouge avec un centre noir caractéristique.

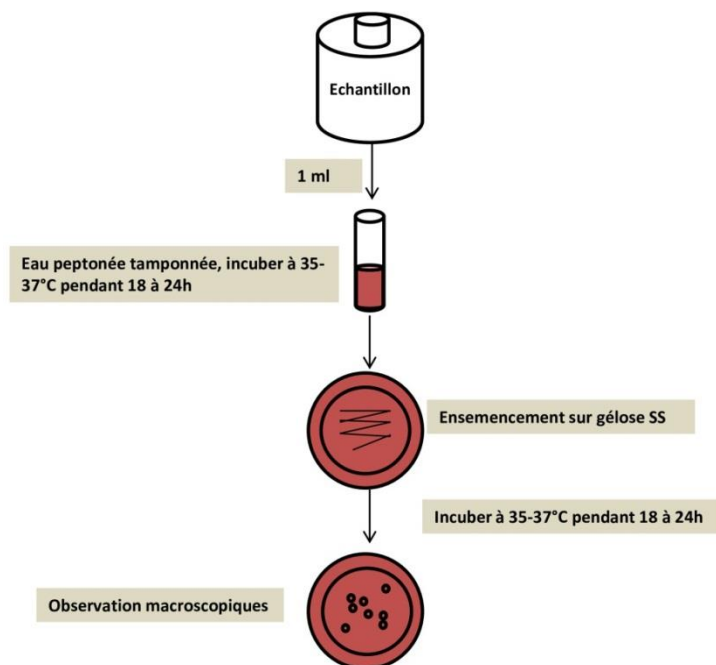


Figure 9: Protocole de recherche des salmonelles

# *Chapitre 3 : Résultats et discussion*

## 1.2.4 RESULTATS

### 1.2.4.1 Les résultats des analyses physico-chimiques

Les paramètres physico-chimiques mesurés comprennent : le pH, l'humidité, la conductivité électrique, la teneur en carbone et l'azote totale, les résultats sont comme suit :

Tableau 3 : Résultats des analyses physico-chimiques

	BOUES D'EPURATION	DECHETS VERTS
pH	6,6	7,3
Conductivité électrique	9,46 mS/cm	-
Azote kjeldahl	1,82%	0,87%
Humidité	15,48%	7,7%
Matière organique	49,46%	86,5%
Carbone	24,73%	43,25%
Rapport C/N	13,58	49,71

#### 1.2.4.1.1 Le pH

Les boues d'épuration présentent un pH de 6,6, révélant ainsi une légère acidité, tandis que les déchets verts affichent un pH quasi neutre de 7,3. Selon Jouraiphy (2007), la plage de pH optimale pour le compostage se situe généralement entre 6 et 8. Ce qui suggère que les deux matériaux sont adaptés pour le compostage, mais un ajustement pourrait être nécessaire pour les boues. Un pH idéal favorise les processus biologiques bénéfiques et la décomposition efficace des matières organiques, assurant ainsi la production de compost de haute qualité.

Le pH est reconnu pour avoir une influence sur la mobilité des métaux lourds dans l'environnement. La gestion appropriée du pH lors de la combinaison de ces matériaux est essentielle pour maintenir des conditions propices à la transformation efficace des déchets en un amendement organique fertile et stable.



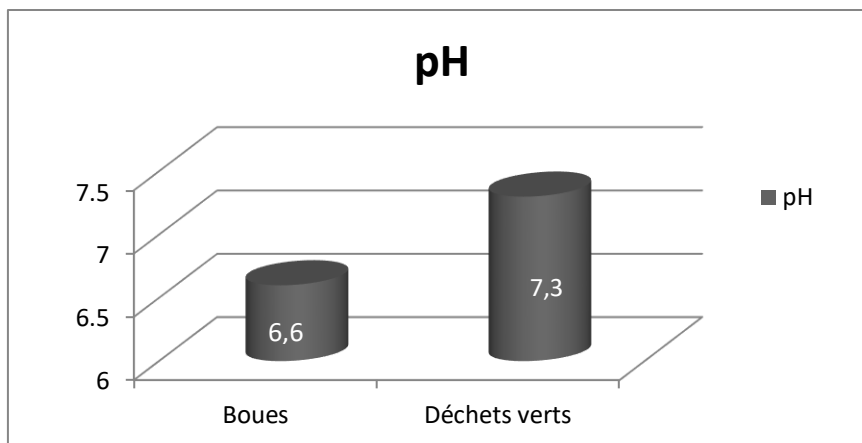


Figure 10: valeurs mesurées du pH des boues et des déchets verts

#### 1.2.4.1.2 La conductivité électrique (CE)

Les boues d'épuration affichent une conductivité moyenne de 9,46 mS/cm. La conductivité électrique des boues fraîches est souvent élevée, se situant généralement entre 2 et 10 mS/cm, en raison des additifs chimiques utilisés dans le traitement des eaux usées (Afgane et al. 2019). Cette haute conductivité est un indicateur de la salinité des boues. Cependant, une conductivité trop élevée, dépassant les 5 mS/cm, pourrait avoir un impact négatif sur la croissance des plantes (Sore et al. 2021) si le compost est utilisé comme amendement. Ainsi, la conductivité idéale des boues avant compostage devrait idéalement se situer entre 2 et 5mS/cm.

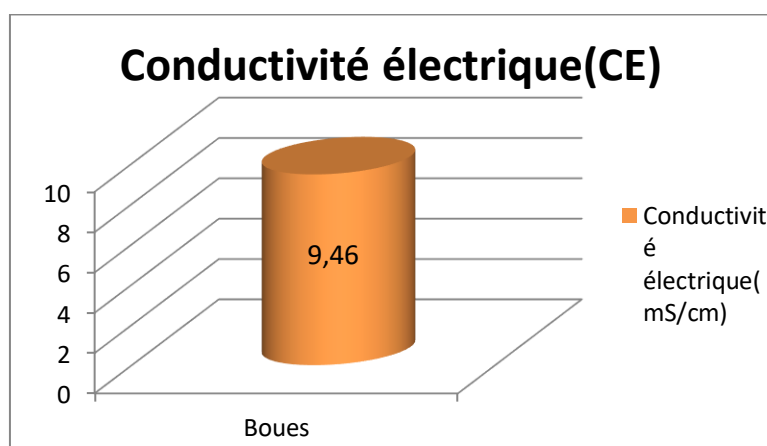


Figure 11: Conductivité électrique des boues

#### 1.2.4.1.3 L'humidité

Après avoir été soumises au processus de séchage, les boues présentent une teneur en eau de 15,48 %, tandis que les déchets verts affichent un taux de 7,7 %. Il est essentiel de prendre en compte cette quantité d'eau résiduelle dans les intrants afin de calculer précisément les

proportions lors du mélange. Cela garantit une composition adéquate et équilibrée des matériaux utilisés, notamment dans les processus de compostage.

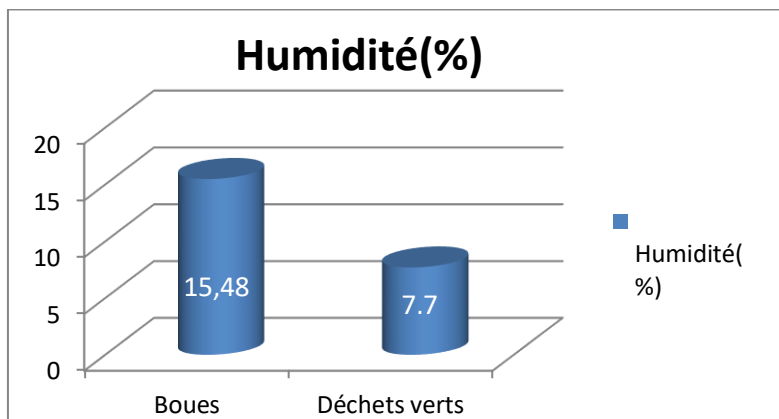


Figure 12: Teneur en eau des échantillons

**1.2.4.1.4 Azote Total (Méthode de KJELDAHL)**

Le teneur en azote des boues s’élève à 1,82% tandis que celle des déchets verts est de 0,87%, les boues sont donc une source plus riche en azote que les déchets verts.

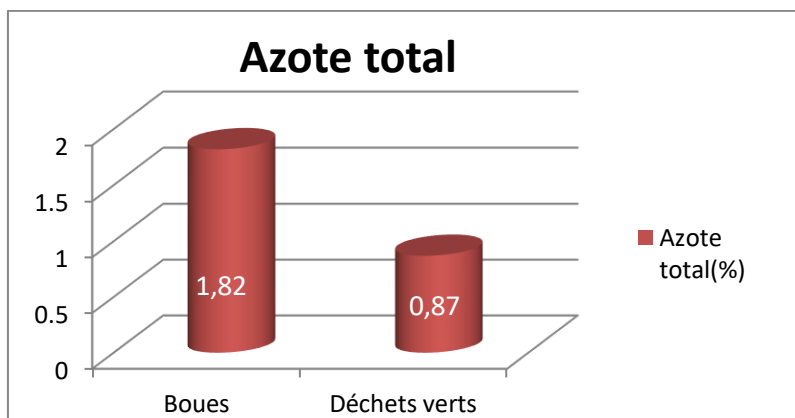


Figure 13: Pourcentage en azote de boues et déchets verts

**1.2.4.1.5 Teneur en carbone**

Le taux de carbone des déchets verts atteint en moyenne 43,25 %, tandis que celui des boues d’épuration est de 24,73 %. Ainsi, les déchets verts présentent une teneur en carbone supérieure à celle des boues d’épuration. De plus, les déchets verts contiennent une proportion de matière organique significativement plus élevée, avec 86,5 %, contre 49,46 % pour les boues d’épuration.

Tableau 4: Calcul de la teneur en carbone des boues d'épuration

Echantillons	Creuset vide	Prises d'essai	Creuset + échantillon (avant calcination)	Creuset + échantillon (après calcination)	% matière organique	% carbone
B <sub>1</sub>	88,9450	5,0051	93,9507	91,4698	49,56	24,78
B <sub>2</sub>	87,8295	5,0040	92,8339	90,3586	49,46	24,73
B <sub>3</sub>	87,7001	5,0052	92,7053	90,2335	49,38	24,69
					MOYENNE = 49,46	MOYENNE = 24,73

Tableau 5: Calcul de la teneur en carbone des déchets verts

Echantillons	Creuset vide	Prises d'essai	Creuset + échantillon (avant calcination)	Creuset + échantillon (après calcination)	% matière organique	% carbone
DV <sub>1</sub>	96,1844	5,0003	101,1847	96,8400	86,88	43,44
DV <sub>2</sub>	90,9754	5,0004	95,9758	91,6641	86,22	43,11
DV <sub>3</sub>	92,8872	5,0006	97,8878	93,5671	86,42	43,21
					MOYENNE = 86,5	MOYENNE = 43,25

### 1.2.4.1.6 Le rapport C/N

Le rapport C/N des boues d'épuration est de 13,58 et des déchets verts est de 49,71. Les boues d'épuration présentent ainsi un rapport inférieur à celui des déchets verts. Un bon équilibre C/N est crucial pour assurer le bon déroulement du processus de compostage. En effet, les micro-organismes responsables de la décomposition de la matière organique ont besoin de carbone et d'azote dans des proportions spécifiques pour fonctionner efficacement. Un rapport C/N optimal se situe généralement entre 25 et 30 :1 (El-mrini, et al., 2022).

Tableau 6: Calcul du rapport C/N

	%Carbone	%Azote	Rapport C/N
Boues	24,73	1,82	13,58
Déchets verts	43,25	0,87	49,71

1.2.4.2 Les résultats des analyses microbiologiques

À la suite d'une série d'analyses bactériologiques des déchets verts et des boues réalisées au laboratoire de microbiologie du Centre de Recherche en Biotechnologie (CRBt), nous avons recueilli des résultats présentés dans les tableaux et figures.

1.2.4.2.1 Résultats de la recherche de la flore mésophile totale

La flore aérobie mésophile totale est employée comme un marqueur de la pollution générale, selon Tabet (2015) ,les bactéries peuvent avoir une origine autre que fécale, provenant également de l'environnement.

Elle sert de marqueur pour la charge organique et la prolifération microbienne dans les échantillons riches en matières organiques.

Tableau 7: Résultats de la recherche de la flore mésophile totale

	BOUES D'EPURATION		DECHETS VERT	
	25°C	37°C	25°C	37°C
10 <sup>-1</sup>	Indénombrable	Indénombrable	Indénombrable	Indénombrable
10 <sup>-2</sup>	Indénombrable	Indénombrable	Indénombrable	Indénombrable
10 <sup>-3</sup>	Indénombrable	Indénombrable	Indénombrable	Indénombrable
10 <sup>-4</sup>	Indénombrable	204	Indénombrable	Indénombrable
10 <sup>-5</sup>	114	28	Indénombrable	Indénombrable
10 <sup>-6</sup>	13	<10	Indénombrable	Indénombrable
10 <sup>-7</sup>	4	<10	284	98
10 <sup>-8</sup>	0	<10	41	13

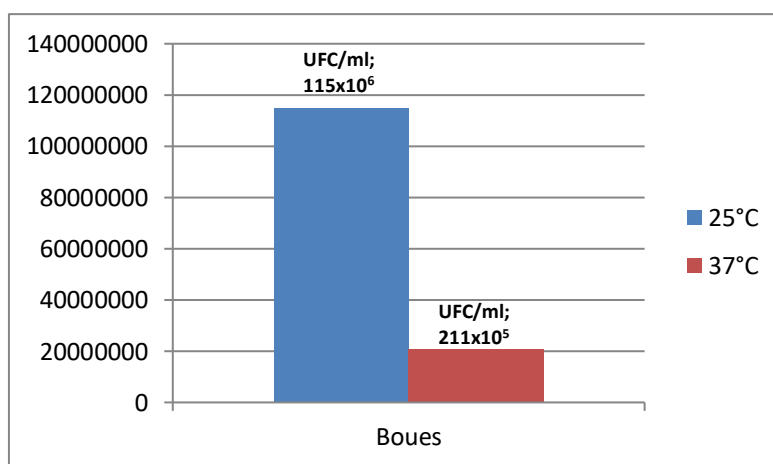


Figure 14: Résultats dénombrement de la flore totale des boues

Pour les boues d'épuration, à faible dilution (10<sup>-1</sup> à 10<sup>-2</sup>), la flore mésophile totale est indénombrable à 25°C et 37°C. À des dilutions intermédiaires (10<sup>-3</sup> à 10<sup>-5</sup>), la concentration diminue progressivement. Par exemple, pour une dilution de 10<sup>-3</sup>, le comptage est de 204 à

25°C et de 114 à 37°C. Aux dilutions élevées ( $10^{-6}$  à  $10^{-8}$ ), la flore mésophile est peu détectable, et à  $10^{-8}$ , elle est absente (valeur 0).

Dans le déchet vert, Comme pour les boues d'épuration, les dilutions faibles ( $10^{-1}$  à  $10^{-2}$ ) montrent une flore indénombrable aux deux températures. Pour les dilutions intermédiaires, les concentrations diffèrent selon la température, par exemple, à  $10^{-4}$ , il y a 284 unités comptables à 25°C et 98 à 37°C. Aux dilutions élevées ( $10^{-6}$  à  $10^{-8}$ ), des valeurs sont encore détectables, mais elles sont significativement plus basses, indiquant une flore en déclin avec la dilution.

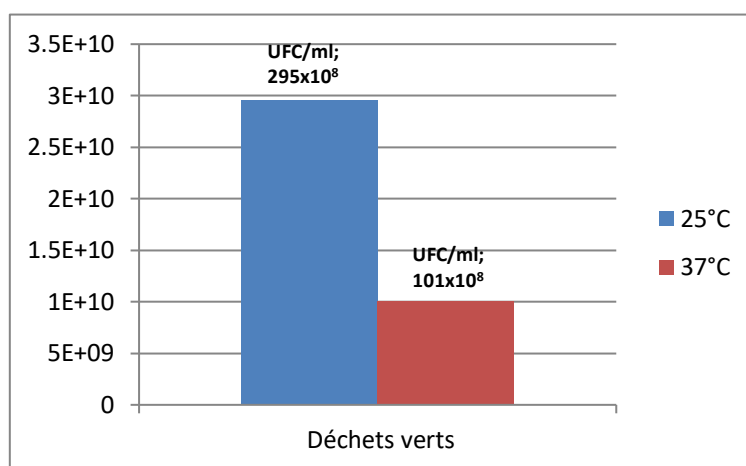


Figure 15: Résultats dénombrement de la flore totale des déchets verts

La température influence légèrement les résultats, avec des valeurs légèrement plus élevées à 25°C qu'à 37°C pour les déchets verts.

Les déchets verts semblent maintenir une flore mésophile totale plus élevée que les boues d'épuration à des dilutions spécifiques, particulièrement à 25°C.

### 1.2.4.2.2 Résultats de la recherche et du dénombrement des streptocoques fécaux

Les résultats des tests présomptifs et confirmatifs pour la détection et le comptage des streptocoques fécaux montrent une concentration élevée dans les déchets verts et une quasi-absence dans les boues d'épuration. Dans les échantillons de déchets verts, les streptocoques fécaux sont détectés jusqu'à la septième dilution décimale, alors qu'ils sont absents dans les

échantillons de boues. Cela se traduit par une quantité de  $110 \times 10^7$  streptocoques fécaux par ml pour les déchets verts, tandis que moins de 3 streptocoques fécaux par ml sont observés dans les boues. Ainsi, les déchets verts présentent une charge significative en streptocoques fécaux par rapport aux boues d'épuration.

Le tableau 8, détaille les résultats initiaux de détection des streptocoques fécaux, montrant des niveaux élevés dans les déchets verts par rapport aux boues. Les résultats de confirmation indiquent également une concentration élevée dans les déchets verts, validant les données du test présomptif (tableau 9).

La figure 26 illustre graphiquement la différence de charge bactérienne entre les déchets verts et les boues, avec une concentration de streptocoques fécaux significativement plus élevée dans les déchets verts.

La diminution rapide de la présence de streptocoques dans les boues d'épuration avec l'augmentation de la dilution contraste avec la persistance dans les déchets verts. Cela pourrait être lié à la composition organique et aux conditions de croissance favorables pour les streptocoques dans les déchets verts. Les échantillons de déchets verts pourraient aussi avoir été contaminés lors de la collecte ou du traitement.

Le tableau 09 présente les résultats du test de confirmation pour la recherche de streptocoques fécaux dans des échantillons de boues d'épuration et de déchets verts

L'absence de streptocoques fécaux dans les échantillons de boues d'épuration est inattendue.

Les boues d'épuration contiennent généralement des niveaux élevés de bactéries fécales.

Cela pourrait être dû à plusieurs facteurs :

- Processus de traitement : Les boues d'épuration ont peut-être subi un processus de traitement qui a éliminé efficacement les streptocoques fécaux.
- Erreur d'échantillonnage : Les échantillons de boues d'épuration pourraient ne pas être représentatifs de l'ensemble du lot.
- Substances inhibitrices : Les échantillons de boues d'épuration pourraient contenir des substances qui inhibent la croissance des streptocoques fécaux lors du test.

Tableau 8: Résultats du test présomptif pour la recherche de streptocoques

	Milieu Roth Broth					
	BOUES D'EPURATION			DECHETS VERT		
10 <sup>-1</sup>	+	+	+	+	+	+
10 <sup>-2</sup>	-	-	-	+	+	+
10 <sup>-3</sup>	-	-	-	+	+	+
10 <sup>-4</sup>	-	-	-	+	+	+
10 <sup>-5</sup>	-	-	-	+	+	+
10 <sup>-6</sup>	-	-	-	+	+	+
10 <sup>-7</sup>	-	-	-	+	+	+
10 <sup>-8</sup>	-	-	-	-	-	-

Tableau 9: Résultats du test de confirmation pour la recherche des streptocoques fécaux

	Milieu Evaletsky					
	BOUES D'EPURATION			DECHETS VERT		
10 <sup>-1</sup>	-	-	-	+	+	+
10 <sup>-2</sup>	-	-	-	+	+	+
10 <sup>-3</sup>	-	-	-	+	+	+
10 <sup>-4</sup>	-	-	-	+	+	+
10 <sup>-5</sup>	-	-	-	+	+	+
10 <sup>-6</sup>	-	-	-	+	+	+
10 <sup>-7</sup>	-	-	-	+	-	-
10 <sup>-8</sup>	-	-	-	-	-	-

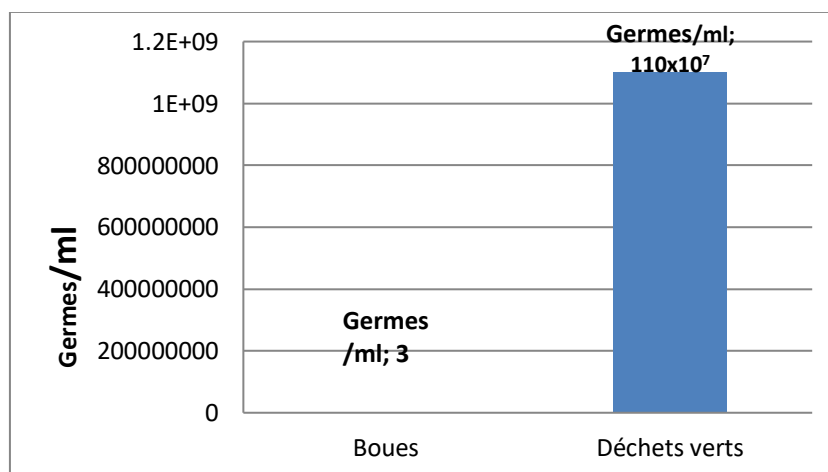


Figure 16: Résultats du dénombrement de Streptocoque fécal

#### 1.2.4.2.3 Résultats de la recherche et du dénombrement des coliformes fécaux

Les résultats des tests présomptifs (milieu BCPL) et confirmatifs (milieu Schubert) pour la détection et le comptage des coliformes fécaux, révèlent une différence significative dans la concentration de coliformes fécaux entre les déchets verts et les boues d'épuration. Les échantillons de déchets verts montrent une forte contamination, avec des coliformes fécaux détectés jusqu'à la huitième dilution décimale, correspondant à une concentration de  $21 \times 10^9$  coliformes fécaux par ml (tableau 10 et 11). En comparaison, dans les échantillons de boues, les coliformes fécaux sont absents dès la cinquième dilution, indiquant une concentration beaucoup plus faible, inférieure à  $11 \times 10^4$  coliformes fécaux par ml. Ces résultats mettent en évidence une concentration de coliformes fécaux nettement plus élevée dans les déchets verts par rapport aux boues d'épuration, ce qui peut être dû à la nature organique des déchets verts, favorisant une croissance bactérienne plus importante.

Le milieu Schubert a permis de confirmer la présence des coliformes fécaux détectés dans les échantillons

Cela peut s'expliquer par :

- Une contamination d'origine organique et environnementale des déchets verts.
- Une capacité de certaines bactéries à survivre ou se multiplier dans ces matrices riches en matière végétale.

En outre, la présence d'*Escherichia Coli*, confirmée par le réactif de Kovacs lorsqu'ils dégradent le tryptophane (Figure 28), et se manifeste par une couche rouge ou rosée à la surface du milieu liquide, indiquant la production d'indole par la dégradation du tryptophane, ce qui est une caractéristique typique d'*Escherichia coli*. Cela suggère une contamination d'origine fécale dans les déchets verts, cohérente avec les résultats des tests de coliformes et streptocoques. Ces tests renforcent ainsi, la fiabilité des conclusions sur la qualité microbiologique de nos échantillons.

L'utilisation d'eaux usées ou insuffisamment traitées pour l'irrigation est une source bien documentée de contamination microbienne.



Les boues d'épuration non stabilisées ou insuffisamment traitées contiennent des concentrations élevées de micro-organismes pathogènes, notamment des coliformes fécaux et E. coli. Leur application directe sur les sols peut conduire à une contamination croisée des cultures environnantes.

L'utilisation d'eaux de lavage non potable ou contaminée par des effluents agricoles ou domestiques est aussi l'une des causes fréquentes de contamination des produits agricoles.

Tableau 10: Résultats du test présomptif pour les recherches de coliformes fécaux

	Milieu BCPL					
	BOUES D'EPURATION			DECHETS VERT		
10 <sup>-1</sup>	+	+	+	+	+	+
10 <sup>-2</sup>	+	+	+	+	+	+
10 <sup>-3</sup>	+	+	+	+	+	+
10 <sup>-4</sup>	+	+	+	+	+	+
10 <sup>-5</sup>	+	-	-	+	+	+
10 <sup>-6</sup>	-	-	-	+	+	+
10 <sup>-7</sup>	-	-	-	+	+	+
10 <sup>-8</sup>	-	-	-	+	-	-
10 <sup>-9</sup>	-	-	-	-	-	-

Tableau 11: Résultats du test de confirmation pour la recherche de coliformes fécaux

	Milieu Schubert					
	BOUES D'EPURATION			DECHETS VERT		
10 <sup>-1</sup>	+	+	+	+	+	+
10 <sup>-2</sup>	+	+	+	+	+	+
10 <sup>-3</sup>	+	+	+	+	+	+
10 <sup>-4</sup>	+	+	+	+	+	+
10 <sup>-5</sup>	-	-	-	+	+	+
10 <sup>-6</sup>	-	-	-	+	+	+
10 <sup>-7</sup>	-	-	-	+	+	+
10 <sup>-8</sup>	-	-	-	-	+	+
10 <sup>-9</sup>	-	-	-	-	+	+
10 <sup>-10</sup>	-	-	-	-	-	-

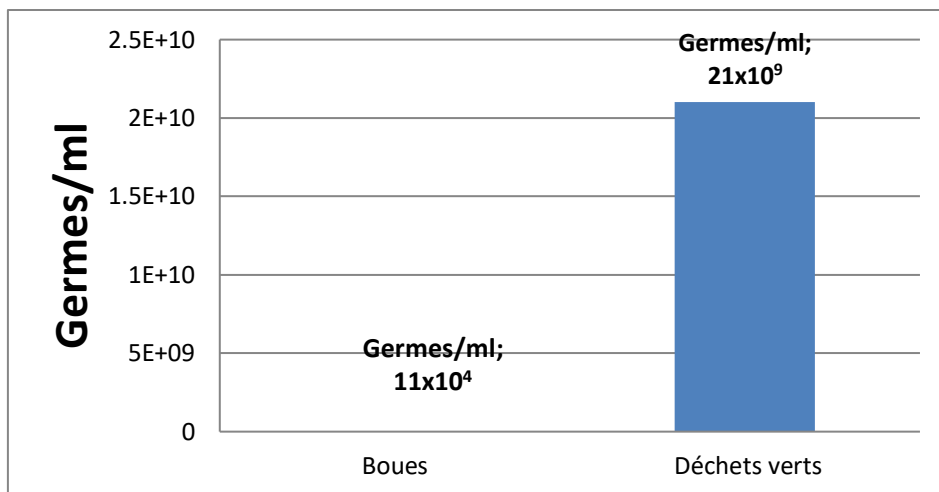


Figure 17: Résultats dénombrement de coliforme fécal



Photo 11 : Présence d'Escherichia Coli

#### 1.2.4.2.4 Résultat de la recherche de Clostridium sulfito-réducteur

Le test présomptif effectué pour la détection des clostridiens sulfito-réducteurs a permis de confirmer leur présence dans les deux types de matrices étudiées : les déchets verts et les boues d'épuration. Ce résultat souligne la capacité de ces bactéries à se retrouver et potentiellement à persister dans des environnements riches en matière organique, ce qui peut présenter des enjeux pour la gestion sanitaire du compost.

Le Tableau 12, présente en détail les résultats obtenus dans chaque matrice. Ces données sont essentielles pour évaluer le niveau de contamination et peuvent servir de base pour les mesures de contrôle microbiologique dans les processus de compostage.

Tableau 12: Résultats de la recherche de Clostridium sulfito-réducteur

	Milieu viande foie (solide)	
	BOUES D'EPURATION	DECHETS VERT
10 <sup>-1</sup>	+	+
10 <sup>-2</sup>	+	+
10 <sup>-3</sup>	+	+
10 <sup>-4</sup>	+	+
10 <sup>-5</sup>	-	-

**1.2.4.2.5 Résultats de la recherche des vibrions (vibrio ssp)**

Le test présomptif utilisé pour la détection des vibrions a permis de confirmer leur présence à la fois dans les déchets verts et dans les boues d'épuration.

Cette présence indique que ces milieux peuvent potentiellement être des réservoirs pour ces bactéries, ce qui est significatif pour la compréhension de leur source environnementale et de leurs risques dans le produit du compostage.

La figure 29, illustre visuellement les résultats de cette recherche en mettant en évidence la croissance et la détection des Vibrions dans les échantillons testés.



Photo 12 : Présence de vibrions

**1.2.4.2.6 Résultats de la recherche de salmonelles**

Le test présomptif de détection des salmonelles confirme leur présence à la fois dans les déchets verts et dans les boues d'épuration, comme indiqué dans la photo suivante qui illustre visuellement la confirmation de la présence de salmonelles dans les échantillons analysés :



Photo 13 : Présence de salmonelles

Ce résultat indique que ces milieux peuvent héberger des pathogènes potentiels comme les salmonelles, ce qui présente un intérêt pour la gestion des risques microbiens dans le compostage.

En France, la réglementation (la norme NF U 44-051) impose une absence de salmonelles dans des échantillons de 25 g pour garantir la sécurité microbiologique du compost utilisé en agriculture (AFNOR 2009).

### 1.2.4.3 Évaluation des proportions du mélange

Comme mentionné précédemment, le rapport C/N optimal se situe généralement entre 25 et 30 :1. Cela signifie que pour 25 à 30 parties de carbone, il doit y avoir 1 partie d'azote (Elmrini, et al. 2022). Nous devons donc préparer un mélange qui respecte cette condition pour le bon déroulement du processus de compostage.

Il est également essentiel de déduire la masse d'humidité résiduelle des intrants afin de calculer précisément leurs proportions.

Le tableau suivant nous rappelle les paramètres mesurés :

Tableau 13: Teneur en eau et rapport C/N des intrants

	BOUES D'EPURATION	DECHETS VERTS
Humidité	15,48%	7,7%
Rapport C/N	13,58	49,71

À partir des mesures du Tableau 13, il est nécessaire d'ajouter respectivement 15,48% et 7,7% de quantités supplémentaires de boues et de déchets verts afin de soustraire la masse de l'eau qu'ils contiennent.

La formule suivante permet le calcul du ratio C:N lorsqu'on combine plusieurs types d'intrants (Mortula et al. 2020) :

$$FINAL\ C:N = \sum_{i=1}^n (R_n \times W_n)$$

Où :

Le C:N final est le rapport C:N cumulatif des différents types d'intrant ;

R est le rapport C:N de chaque type d'intrant

W est la proportion de chaque type de déchet dans la masse finale des déchets.

Remarque : la somme des proportions des matières premières est égale à 1.

$$\sum_{i=1}^n W_n = 1$$

Ainsi pour un rapport C/N fixé à 25, les proportions sont de **68.4%** de boues et **31.6%** de déchets verts.

### 1.2.5 DISCUSSION

Les résultats de cette étude sur les caractéristiques physico-chimiques et microbiologique des boues d'épuration et des déchets verts révèlent des différences significatives qui ont des implications importantes pour le compostage et la gestion des déchets organiques.

#### **Interprétation des Résultats :**

Les analyses montrent que les boues d'épuration présentent un pH de 6,6, ce qui les rend légèrement acides, alors que les déchets verts ont un pH de 7,3, indiquant une légère alcalinité. De plus, les boues d'épuration affichent une conductivité électrique de 9,46 mS/cm, suggérant une salinité élevée, ce qui pourrait poser des problèmes lors du compostage si elle n'est pas gérée correctement. En ce qui concerne l'azote kjeldahl, les boues d'épuration contiennent 1,82%, tandis que les déchets verts en contiennent 0,87%, montrant une plus

grande richesse en azote pour les boues d'épuration ce qui est favorable pour un apport en nutriments dans le compost. Les boues d'épuration sont également plus humides avec une teneur en humidité de 15,48%, comparée à 7,7% pour les déchets verts. En matière organique, les boues d'épuration contiennent 49,46% de matière organique, alors que les déchets verts en contiennent 86,5%, révélant une plus grande richesse en matière organique pour ces derniers. En conséquence, les boues d'épuration sont moins riches en carbone avec une teneur de 24,73% tandis que les déchets verts en contiennent 43,25%. Enfin, le rapport C/N des boues d'épuration est de 13,58, inférieur à celui des déchets verts qui est de 49,71, indiquant un rapport C/N plus élevé pour les déchets verts. Ce qui affirme qu'un mélange équilibré est nécessaire pour optimiser le processus de compostage.

Les résultats des analyses microbiologiques démontrent une forte contamination des déchets verts, plus importante que celle des boues. Pour certains paramètres (streptocoques fécaux) les tests sont quasi négatifs concernant les boues d'épuration. Aussi, il est à noter que les boues récupérées étaient déjà en séchage au soleil durant environ 2 mois. Ceci explique donc sa faible charge en microorganismes, en d'autres termes le séchage des boues a pour effet d'éliminer les germes qu'elles contiennent notamment la fraction directement exposée au soleil. De même le processus de fermentation peut s'enclencher dans la fraction des boues non exposé (en profondeur) conduisant à la montée en température et donc à l'élimination des germes. Concernant les déchets de fruits et légumes (déchets verts) récupérées au marché de vente en gros de l'Oued Athmania, les résultats affichent une forte contamination en germes d'origine fécale et tout comme les boues d'épuration la présence de microorganismes pathogènes (ASR, vibrion et salmonelles). Cette contamination peut être due à l'utilisation de l'eau de l'Oued Rhumel pour l'irrigation des cultures et aussi pour le nettoyage des fruits et légumes récoltés. En effet, la station d'épuration de l'Oued Athmania rejette les eaux traitées directement dans l'oued : Ces eaux traitées ne sont pas exemptées de présence microbienne. Ainsi cette communauté microbienne se retrouve dans l'Oued dont l'eau est utilisée par les agriculteurs.

Par ailleurs, la montée en température lors du processus de compostage élimine la plupart des germes pathogènes.

### **Confrontation avec la Littérature Existante :**

Ces résultats sont cohérents avec les valeurs recommandées dans la littérature pour assurer un bon début du processus de compostage, à l'exception de la conductivité électrique des boues,

qui devrait idéalement être inférieure à 5 mS/cm au départ du compostage. Rappelons aussi que la conductivité électrique des boues fraîches est souvent élevée, typiquement entre 2 et 10 mS/cm, en raison de l'utilisation d'additifs chimiques pendant le traitement (Afgane et al. 2019)

Elle est également liée à la composition chimique des boues, influencée par l'origine des eaux traitées. La STEP en question reçoit les eaux de la commune de Chelghoum Laïd, notamment celles provenant de sa zone industrielle, qui comprend un complexe industriel de détergents.

Pour la flore aérobique mésophile totale, les résultats confirment que les deux intrants présentent une charge microbienne importante aux dilutions faibles, indiquant une flore mésophile aérobique dense dans les deux types de matières organiques. La diminution de la flore avec les dilutions progressives est conforme à ce que l'on observe généralement en microbiologie où la concentration microbienne diminue au fur et à mesure que l'échantillon est dilué. La flore aérobique mésophile totale est largement reconnue dans la littérature scientifique comme un indicateur standard de la pollution microbienne générale dans les milieux aquatiques et les déchets. Les résultats sont cohérents avec la fonction de cette flore comme indicateur global de pollution, sans lien spécifique à une origine fécale.

Les résultats du test présomptif pour la recherche de streptocoques dans des échantillons de boues d'épuration et de déchets verts indiquent une concentration plus importante de streptocoques dans les déchets verts par rapport aux boues d'épuration. Les déchets verts pourraient offrir des conditions plus propices pour la croissance ou la survie des streptocoques, ce qui justifie la présence de résultats positifs jusqu'à des dilutions élevées.

Le test de confirmation pour la recherche de streptocoques fécaux dans des échantillons de boues d'épuration et de déchets verts confirme l'absence inattendue de streptocoques fécaux dans les boues d'épuration nécessite une enquête plus approfondie pour en déterminer la cause. La présence dans les échantillons de déchets verts soulève des préoccupations concernant une contamination potentielle.

Les boues d'épuration, bien qu'infectées, montrent une décroissance plus rapide des coliformes avec les dilutions, indiquant une charge initiale moindre comparée aux déchets verts.

Habituellement, les déchets verts présentent une contamination microbienne plus faible. Par contre, dans notre cas, ils montrent une charge microbienne plus importante en coliformes fécaux que les boues d'épuration, notamment à des dilutions plus élevées. Selon Toze (2006)

l'irrigation par des eaux usées entraîne souvent la persistance d'indicateurs fécaux (*E. coli*, coliformes) sur les végétaux, même après récolte.

Cela peut s'expliquer une contamination d'origine organique et environnementale des déchets verts probablement due à l'irrigation par des eaux polluées ou l'pendage des boues d'épuration fraîches ou bien le lavage des fruit et légumes par des eaux contaminées.

Gantzer et al. (2001) montrent que l'épandage de boues sur des sols agricoles est une source majeure de transfert bactérien aux produits cultivés.

L'utilisation d'eaux de lavage non potable ou contaminée par des effluents agricoles ou domestiques est une cause fréquente de contamination des produits végétaux. Beuchat (1996) rapporte que les fruits et légumes lavés avec des eaux contenant des coliformes présentent une contamination persistante, surtout dans les crevasses ou les zones difficiles à nettoyer.

La présence de *Clostridium sulfito-réducteur* dans les boues d'épuration est classique, car ces bactéries sont souvent présentes dans les milieux riches en matière organique et pauvres en oxygène. Leur présence dans les déchets verts peut s'expliquer par une contamination fécale (animaux, humains) ou par la présence de sols contaminés.

### **Limite de l'Étude :**

Bien que cette étude ait fourni des résultats intéressants, plusieurs limites doivent être prises en compte. Les valeurs de la conductivité électrique (5 mS/cm) et du pH (6,6) légèrement acide qu'affichent les boues sont typiques de la phase de fermentation. En clair, d'après les informations recueillis auprès des opérateurs de la station, ces derniers étaient déjà à l'air libre depuis 2 mois. Le processus de fermentation a peut-être débuté, ce qui pourrais avoir un effet sur la conductivité électrique et le pH. Ainsi, partant de cette hypothèse, il est possible que le rapport C/N ait changé au fil du temps, étant donné que ce ratio diminue pendant le processus et ne reflète donc pas nécessairement la valeur initiale du C/N.

### **Implications Pratiques et Théoriques :**

Les résultats de cette étude soulignent des implications significatives tant sur le plan pratique que théorique pour la gestion des déchets organiques et le futur processus de compostage. Sur le plan pratique, la richesse en azote des boues d'épuration, combinée à leur rapport C/N favorable, indique qu'elles peuvent constituer un amendement nutritif précieux dans les pratiques de compostage. En intégrant ces boues dans le processus de compostage avec des déchets verts, il est possible d'optimiser la qualité du compost produit, favorisant ainsi une



fertilisation durable des sols agricoles. Théoriquement, cette recherche contribue à la compréhension des interactions entre les différents types de déchets organiques et leur impact sur le processus de compostage. Les différences observées dans les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques entre les boues d'épuration et les déchets verts ouvrent la voie à des études futures visant à explorer comment ces facteurs influencent non seulement l'efficacité du compostage, mais aussi la sécurité sanitaire du produit final. En fin de compte, ces résultats renforcent l'importance d'une gestion intégrée des déchets organiques, favorisant une approche circulaire qui valorise les ressources tout en minimisant les impacts environnementaux.

### **Perspectives de Recherche Future :**

Pour conclure, il serait pertinent d'explorer davantage les impacts de ces intrants, boues d'épuration et déchets verts, sur la qualité du compost et la gestion durable des ces déchets organiques. Des recherches futures pourraient se concentrer, aussi, sur l'évaluation de méthodes visant à réduire la contamination microbienne dans les boues d'épuration et déchets verts et à améliorer leur qualité pour un usage agronomique. Du fait de leurs conductivités élevées, une attention particulière devrait également être portée aux effets à long terme du compost produit sur la santé du sol et la productivité agricole, En somme, cette étude met en lumière l'importance d'une gestion intégrée des déchets organiques qui valorise ces ressources tout en minimisant les impacts environnementaux.

# *CONCLUSION*

Au terme de ce travail, notre recherche a été effectuée au niveau du laboratoire n°7 du CRBT. Il consiste en une caractérisation physico-chimique et microbiologique des déchets organiques et des boues d'épuration destinés à un co-compostage. Plusieurs analyses ont été effectuées en vue d'évaluer l'état des intrants (boues d'épuration et déchets verts).

Les résultats des analyses physico-chimiques révèlent des différences significatives entre les boues d'épuration et les déchets verts. Les boues présentent un pH légèrement acide (6,6), tandis que les déchets verts sont quasiment neutres (7,3), des conditions favorables au compostage. Cependant, les boues ont une conductivité électrique élevée (9,46 mS/cm), dépassant l'idéal de 2 à 5 mS/cm avant compostage, ce qui peut affecter la croissance des plantes. L'humidité est également variable, avec 15,48% pour les boues et 7,7% pour les déchets verts, nécessitant une gestion précise lors du mélange pour assurer un compost équilibré. En termes de composition, les boues sont riches en azote (1,82%), tandis que les déchets verts ont une matière organique plus élevée (86,5% contre 49,46% pour les boues) et un rapport C/N plus élevé (43,25% contre 24,73% pour les boues).

Il nous est apparu contrairement aux boues, les déchets verts (récupéré au niveau du marché de vente en gros de fruits et légumes de l'Oued Athmania) sont très chargés en flore microbienne. En effet, les streptocoques fécaux sont abondants dans les déchets verts ( $110 \times 10^7$  UFC/ml) mais quasiment absents dans les boues ( $< 3$  UFC/ml), tandis que les coliformes fécaux sont présents en quantité plus élevée dans les déchets verts ( $21 \times 10^9$  UFC/ml) que dans les boues ( $< 11 \times 10^4$  UFC/ml). Ce sont indicateurs d'une contamination fécale récente. En ce qui concerne les microorganismes pathogènes, les Clostridium sulfito-réducteurs, sont détectés dans les deux types d'intrants, tout comme les Vibrions et les Salmonelles. On note aussi la présence d'Escherichia Coli dans les deux entrants. Cela suggère donc une contamination des déchets verts par utilisation des eaux polluées. De même le traitement et la durée d'exposition des boues au soleil (2 mois), a peut-être réduit la charge microbienne. De ce fait la présence de micro-organismes pathogènes dans les deux types d'intrants nécessite une attention particulière lors du compostage. Des mesures d'hygiène rigoureuses et une température élevée pendant le compostage s'avèrent essentielles pour éliminer ces pathogènes.

Les proportions nécessaires pour atteindre un rapport C/N final de 25 sont de 68,4 % de boues d'épuration et de 31,6 % de déchets verts. Cette répartition souligne la contribution prépondérante des boues d'épuration (68,4 % du mélange), mettant en évidence l'importance accrue de leur valorisation par compostage.

Cette étude atteint son objectif de caractériser les intrants du co-compostage tout en identifiant des défis critiques, notamment la présence de microorganismes pathogènes. Elle met également en évidence le rôle crucial des boues d'épuration comme ressource valorisable.

En conclusion, le compostage représente une solution écologique et durable pour valoriser les déchets organiques, incluant les déchets ménagers et les boues résiduaires, en remplacement de l'exploitation des centres d'enfouissement technique (CET) et des inconvénients associés. Toutefois, le compostage nécessite une gestion rigoureuse pour éviter la contamination du compost final par des pathogènes et des contaminants, ainsi que pour optimiser le processus de décomposition. Sa mise en œuvre à grande échelle nécessite des infrastructures adaptées et un engagement communautaire pour favoriser la collecte sélective des déchets organiques et promouvoir des pratiques durables de gestion des déchets. À l'avenir, il serait pertinent de développer des études à grande échelle pour évaluer les performances environnementales et économiques de cette pratique dans des contextes variés.

***REFERENCES***  
***BIBLIOGRAPHIQUES***

- Afgane, Rachida, Jmili Mohammed, Faiza Benjelloun, Farah el Hassani, et Abderrahim Lahrach. 2019. « Valorisation des boues de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Fes », avril.
- AND. 2020. « Rapports ». *Agence Nationale des Déchets* (blog). 2020. <https://and.dz/rapports/>.
- Avnimelech, Yoram, Moshe Bruner, Itai Ezrony, Roy Sela, et Malka Kochba. 2013. « Stability Indexes For Municipal Solid Waste Compost ». *Compost Science & Utilization* 4 (juillet):13-20. <https://doi.org/10.1080/1065657X.1996.10701825>.
- Baeta-Hall, Lina, M. Céu Sàágua, M. Lourdes Bartolomeu, Ana M. Anselmo, et M. Fernanda Rosa. 2005. « Bio-degradation of olive oil husks in composting aerated piles ». *Bioresource Technology* 96 (1): 69-78. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.06.007>.
- Beuchat, L. R. (1996). Pathogenic microorganisms associated with fresh produce. *Journal of Food Protection*, 59(2), 204–216.
- Bromblet, Hélène, et Geeta Somaroo. 2015. « Analyse synthétique des retours d'expérience sur les techniques de compostage dans les pays en développement ». *Environnement, Ingénierie & Développement* N°70-novembre 2015 (novembre) :19. <https://doi.org/10.4267/dechets-sciences-techniques.3292>.
- Bustamante, M. A., C. Paredes, F. C. Marhuenda-Egea, A. Pérez-Espinosa, M. P. Bernal, et R. Moral. 2008. « Co-composting of distillery wastes with animal manures: Carbon and nitrogen transformations in the evaluation of compost stability ». *Chemosphere* 72 (4) : 551-57. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.03.030>.
- Charnay, F., 2005. Compostage des déchets urbains dans les pays en développement : élaboration d'une démarche méthodologique pour une production pérenne de compost. *Composting of urban waste in developing countries: Development of a methodological approach for sustainable compost production Thèse, Université de Limoges (France)*.
- Cripps, R. W., S. K. Winfree, et J. L. Reagan. 1992. « Effects of sewage sludge application method on corn production ». *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 23 (15-16): 1705-15. <https://doi.org/10.1080/00103629209368698>.
- Culot, Marc, et S. Lebeau. 1999. « Le compostage, une pratique meconnue de gestion des dechets. » *Bulletin d'Information (Association Royale des Ingénieurs Issus de la Fusagx - Aigx)* 5. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/31490>.
- Delarras, Camille. 2014. *Pratique en microbiologie de laboratoire DELARRAS Camille*. <https://www.lavoisier.fr/livre/sciences-de-la-vie/pratique-de-microbiologie-de-laboratoire/delarras/descriptif-9782743015657>.
- Duffour, G, G Srougi, N Bressot, J Alquier, J Castel, et R Jean. 1977. « [Biological and hormonal balance during oral nutrition, exclusive perenteral and mixed nutrition in children] ». *Annales de l'anesthesiologie francaise* 18 (12): 1063-70.
- El Fels, Loubna. 2014. « Suivi physico-chimique, microbiologique et écotoxicologique du compostage de boues de STEP mélangées à des déchets de palmier : validation de nouveaux indices de maturité ». Phd. <http://ethesis.inp-toulouse.fr/archive/00002895/>.
- El-Fadel, Mutasem, et Raed Khoury. 2000. « Modeling Settlement in MSW Landfills: A Critical Review ». *Critical Reviews in Environmental Science and Technology - CRIT REV ENVIRON SCI TECHNOL* 30 (juillet):327-61. <https://doi.org/10.1080/10643380091184200>.

- El-mrini, Soufiane, Rachid Aboutayeb, et Abdeljalil Zouhri. 2022. « Effect of initial C/N ratio and turning frequency on quality of final compost of turkey manure and olive pomace ». *Journal of Engineering and Applied Science* 69 (1): 37. <https://doi.org/10.1186/s44147-022-00092-6>.
- Francou, Cédric. 2003. « Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets urbains : influence de la nature des déchets et du procédé de compostage - recherche d'indicateurs pertinents ». Phdthesis, INAPG (AgroParisTech). <https://pastel.hal.science/pastel-00000788>.
- Prévo, H. 2000. La récupération de l'énergie issue du traitement des déchets. Rapport du Conseil Général des Mines au Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie, Paris.
- Jarde, Emilie, Laurence Mansuy-Huault, et Pierre Faure. 2003. « Characterization of the macromolecular organic content of sewage sludges by thermally assisted hydrolysis and methylation-gas chromatography–mass spectrometer (THM-GC/MS) ». *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 68 (août):331-50. [https://doi.org/10.1016/S0165-2370\(03\)00053-6](https://doi.org/10.1016/S0165-2370(03)00053-6).
- Jiménez, Emeterio Iglesias, et Victor Perez Garcia. 1989. « Evaluation of city refuse compost maturity: a review ». *Biological Wastes* 27 (2): 115-42. [https://doi.org/10.1016/0269-7483\(89\)90039-6](https://doi.org/10.1016/0269-7483(89)90039-6).
- Johnson, R., Anthony Onwuegbuzie, et Lisa Turner. 2007. « Toward a Definition of Mixed Methods Research. Journal of Mixed Methods Research, 1, 112-133 ». *Journal of Mixed Methods Research* 1 (avril):112-33. <https://doi.org/10.1177/1558689806298224>.
- Jouraiphy, Abdelmajid. 2007. « Compostage des boues activées-déchets verts : analyses physicochimiques, microbiologiques, toxicologiques, bilan humique et valorisation agronomique ». [calameo.com](https://www.calameo.com/books/000818258d704deb85c83). 2007. <https://www.calameo.com/books/000818258d704deb85c83>.
- Klöpffer, Walter. 1996. « Environmental hazard assessment of chemicals and products. Part V. Anthropogenic chemicals in sewage sludge ». *Chemosphere* 33 (6): 1067-81. [https://doi.org/10.1016/0045-6535\(96\)00247-0](https://doi.org/10.1016/0045-6535(96)00247-0).
- Korsak, N., A. Clinquart, et G. Daube. 2004. « Salmonella spp. Dans les denrées alimentaires d'origine animale : un réel problème de santé publique ». *Ann. Méd. Vét* 148:174-93.
- Lambkin, Denise, Stephen Nortcliff, et Tim White. 2004. « The importance of precision in sampling sludges, biowastes and treated soils in a regulatory framework ». *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 23 (novembre):704-15. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2004.08.008>.
- Abouelouafa M, Berrichi A, El Halouani H, et Kharboua M. s. d. « Effets de la réutilisation des eaux usées brutes de la ville d'Oujda sur quelques paramètres agronomiques et bactériologiques | Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires » 22 (3). Consulté le 1 juillet 2024. <https://revues.imist.ma/index.php/jwes/article/view/20085>.
- Inckel, M., Smet, P. D., Tersmette, T., & Veldkamp, T. (2005). Fabrication et utilisation du compost. Agromisa.

- Mcbride, Murray. 2003. « Toxic metals in sewage sludge-amended soils: Has promotion of beneficial use discounted the risks? » *Advances in Environmental Research* 8 (octobre):5-19. [https://doi.org/10.1016/S1093-0191\(02\)00141-7](https://doi.org/10.1016/S1093-0191(02)00141-7).
- Michaud L. 2007. Tout sur le compost : le connaître, le faire, l'acheter et l'utiliser. Éditions MultiMondes.
- Mortula, Md Maruf, Aqeel Ahmed, Kazi Parvez Fattah, Ghina Zannerni, Syed A. Shah, et Ahmed M. Sharaby. 2020. « Sustainable Management of Organic Wastes in Sharjah, UAE through Co-Composting ». *Methods and Protocols* 3 (4): 76. <https://doi.org/10.3390/mps3040076>.
- MUSTIN, Michel. 1987. *Le compost : gestion de la matière organique*. Editions François Dubusc. Paris.
- Nammari, Diauddin, William Hogland, Marcia Marques, Sven Nimmermark, et Viatcheslav Moutavtchi. 2004. « Emissions from a controlled fire in municipal solid waste bales ». *Waste management (New York, N.Y.)* 24 (février):9-18. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2003.08.003>.
- Paillat, J.-M. 2008. Compostage: processus et moyens de contrôle. CIRAD. [https://agritrop.cirad.fr/569920/2/document\\_569920.pdf](https://agritrop.cirad.fr/569920/2/document_569920.pdf)
- Pecher, A., H. P. Blaschkowski, K. Knappe, et A. Böck. 1982. « Expression of Pyruvate Formate-Lyase of Escherichia Coli from the Cloned Structural Gene ». *Archives of Microbiology* 132 (4): 365-71. <https://doi.org/10.1007/BF00413390>.
- Pérez, S., null Marinel, null La Farré, M. J. Garcia, et D. Barceló. 2001. « Occurrence of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Sewage Sludge and Their Contribution to Its Toxicity in the Toxalert 100 Bioassay ». *Chemosphere* 45 (6-7): 705-12. [https://doi.org/10.1016/s0045-6535\(01\)00152-7](https://doi.org/10.1016/s0045-6535(01)00152-7).
- Rodier, Francis, Jean-Philippe Coppé, Christopher K. Patil, Wieteke A. M. Hoeijmakers, Denise P. Muñoz, Saba R. Raza, Adam Freund, Eric Campeau, Albert R. Davalos, et Judith Campisi. 2009. « Persistent DNA Damage Signalling Triggers Senescence-Associated Inflammatory Cytokine Secretion ». *Nature Cell Biology* 11 (8): 973-79. <https://doi.org/10.1038/ncb1909>.
- Ryckeboer, Jaak et al.,2003. “A survey of bacteria and fungi occurring during composting and self-heating processes.” *Annals of Microbiology* 53 (2003): 349-410.
- M. H Saharinen, 1998 « Evaluation of Changes in CEC During Composting - NASA/ADS ». Consulté le 7 juin 2024. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1998CScUt...6d..29S/abstract>.
- Sore, Ouindpouire Auguste Aristide, Seyram Sossou, Y. Konate, et S. Ouoba. 2021. « VALORISATION PAR CO-COMPOSTAGE DES BOUES DE VIDANGE DESHYDRATEES ET DES DECHETS SOLIDES MENAGERS ORGANIQUES : SUIVI ET QUALITE ». *Journal of Water and Environmental Sciences* 5 (1) : 616-39.
- Sahlström, Leena, Anna Aspan, Elisabeth Bagge, Marie-Louise Danielsson-Tham, et Ann Albihn. 2004. « Bacterial Pathogen Incidences in Sludge from Swedish Sewage Treatment Plants ». *Water Research* 38 (8): 1989-94. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.01.031>.



- Jean-Philippe Chippaux, S. Houssier, P. Gross, F. Brissaud & Christophe Bouvier (2002). Etude de la pollution de l'eau souterraine de la ville de Niamey, Niger. [https://www.researchgate.net/publication/282170826\\_Etude\\_de\\_la\\_pollution\\_de\\_l'eau\\_souterraine\\_de\\_la\\_ville\\_de\\_Niamey\\_Niger](https://www.researchgate.net/publication/282170826_Etude_de_la_pollution_de_l'eau_souterraine_de_la_ville_de_Niamey_Niger).
- Tabet, Mouna. 2015. « Etude physico-chimique et microbiologique des eaux usées et évaluation du traitement d'épuration ».
- Chennaoui, M., et al. "Valorisation agricole d'un compost produit à partir du compostage en cuve des déchets municipaux." *European Scientific Journal* 12.35 (2016): 247-265.
- Vikman, M., Karjomaa, S., Kapanen, A., Wallenius, K., & Itävaara, M. (2002). "The influence of lignin content and temperature on the biodegradation of lignocellulose in composting conditions." *Applied microbiology and biotechnology* 59: 591-598.
- Werther, J., et T. Ogada. 1999. « Sewage Sludge Combustion ». *Progress in Energy and Combustion Science* 25 (1): 55-116. [https://doi.org/10.1016/S0360-1285\(98\)00020-3](https://doi.org/10.1016/S0360-1285(98)00020-3).
- Zebarth, B. J., R. McDougall, G. Neilsen, et D. Neilsen. 2000. « Availability of nitrogen from municipal biosolids for dryland forage grass ». *Canadian Journal of Plant Science* 80 (3): 575-82. <https://doi.org/10.4141/P99-160>.
- Znaïdi, Ibrahim El-Akram. 2002. « Etude et évaluation du compostage de différents types de matières organiques et des effets des jus de composts biologiques sur les maladies des plantes », octobre.
- Afgane, R., Mohammed, J., Benjelloun, F., el Hassani, F., & Lahrach, A. (2019). Valorisation des boues de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Fès.
- AFNOR. (2009). NF U 44-051 : Amendements organiques - Définition, spécifications et critères. Association Française de Normalisation (AFNOR).
- Agence Nationale des Déchets (AND). (2020). Rapports. Agence Nationale des Déchets. <https://and.dz/rapports/>
- Avnimelech, Y., Bruner, M., Ezrony, I., Sela, R., & Kochba, M. (2013). Stability indexes for municipal solid waste compost. *Compost Science & Utilization*, 4(1), 13–20. <https://doi.org/10.1080/1065657X.1996.10701825>
- Baeta-Hall, L., Sàágua, M. C., Bartolomeu, M. L., Anselmo, A. M., & Rosa, M. F. (2005). Bio-degradation of olive oil husks in composting aerated piles. *Bioresource Technology*, 96(1), 69–78. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.06.007>
- Beuchat, L. R. (1996). Pathogenic microorganisms associated with fresh produce. *Journal of Food Protection*, 59(2), 204–216. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-59.2.204>
- Bromblet, H., & Somaroo, G. (2015). Analyse synthétique des retours d'expérience sur les techniques de compostage dans les pays en développement. *Environnement, Ingénierie & Développement*, 70, 19. <https://doi.org/10.4267/dechets-sciences-techniques.3292>
- Charnay, F. (2005). Compostage des déchets urbains dans les pays en développement : Élaboration d'une démarche méthodologique pour une production pérenne de compost

- [Thèse de doctorat, Université de Limoges]. <http://aurore.unilim.fr/ori-oai-search/notice/view/unilim-ori-15103>
- Chennaoui, M., et al. (2016). Valorisation agricole d'un compost produit à partir du compostage en cuve des déchets municipaux. *European Scientific Journal*, 12(35), 247–265.
- Cripps, R. W., Winfree, S. K., & Reagan, J. L. (1992). Effects of sewage sludge application method on corn production. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 23(15–16), 1705–1715. <https://doi.org/10.1080/00103629209368698>
- Culot, M., & Lebeau, S. (1999). Le compostage, une pratique méconnue de gestion des déchets. *Bulletin d'Information (Association Royale des Ingénieurs Issus de la Fusagx - Aigx)*, 5. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/31490>
- Delarras, C. (2014). *Pratique en microbiologie de laboratoire*. Lavoisier. <https://www.lavoisier.fr/livre/sciences-de-la-vie/pratique-de-microbiologie-de-laboratoire/delarras/descriptif-9782743015657>
- Duffour, G., Srougi, G., Bressot, N., Alquier, J., Castel, J., & Jean, R. (1977). [Biological and hormonal balance during oral nutrition, exclusive parenteral and mixed nutrition in children]. *Annales de l'anesthesiologie française*, 18(12), 1063–1070.
- El Fels, L. (2014). *Suivi physico-chimique, microbiologique et écotoxicologique du compostage de boues de STEP mélangées à des déchets de palmier : Validation de nouveaux indices de maturité* [Thèse de doctorat]. <http://ethesis.inp-toulouse.fr/archive/00002895/>
- El-Fadel, M., & Khoury, R. (2000). Modeling settlement in MSW landfills: A critical review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 30(4), 327–361. <https://doi.org/10.1080/10643380091184200>
- El-Mrini, S., Aboutayeb, R., & Zouhri, A. (2022). Effect of initial C/N ratio and turning frequency on quality of final compost of turkey manure and olive pomace. *Journal of Engineering and Applied Science*, 69(1), 37. <https://doi.org/10.1186/s44147-022-00092-6>
- Francou, C. (2003). *Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets urbains : Influence de la nature des déchets et du procédé de compostage - Recherche d'indicateurs pertinents* [Thèse de doctorat, INAPG (AgroParisTech)]. <https://pastel.hal.science/pastel-00000788>
- Prévot, H. (2000). *La récupération de l'énergie issue du traitement des déchets. Rapport du Conseil Général des Mines au Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie*. <https://side.developpement-durable.gouv.fr/CENT/doc/SYRACUSE/61513/recuperation-de-l-energie-issue-du-traitement-des-dechets-le>

- Iglesias Jiménez, E., & Perez Garcia, V. (1989). Evaluation of city refuse compost maturity: A review. *Biological Wastes*, 27(2), 115–142. [https://doi.org/10.1016/0269-7483\(89\)90039-6](https://doi.org/10.1016/0269-7483(89)90039-6)
- Jarde, E., Mansuy-Huault, L., & Faure, P. (2003). Characterization of the macromolecular organic content of sewage sludges by thermally assisted hydrolysis and methylation-gas chromatography–mass spectrometer (THM-GC/MS). *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 68, 331–350. [https://doi.org/10.1016/S0165-2370\(03\)00053-6](https://doi.org/10.1016/S0165-2370(03)00053-6)
- Johnson, R., Onwuegbuzie, A., & Turner, L. (2007). Toward a Definition of Mixed Methods Research. *Journal of Mixed Methods Research*, 1(1), 112–133. <https://doi.org/10.1177/1558689806298224>
- Jouraihy, A. (2007). Compostage des boues activées-déchets verts : Analyses physicochimiques, microbiologiques, toxicologiques, bilan humique et valorisation agronomique. Calameo. <https://www.calameo.com/books/000818258d704deb85c83>
- Klöpffer, W. (1996). Environmental hazard assessment of chemicals and products. Part V. Anthropogenic chemicals in sewage sludge. *Chemosphere*, 33(6), 1067–1081. [https://doi.org/10.1016/0045-6535\(96\)00247-0](https://doi.org/10.1016/0045-6535(96)00247-0)
- Korsak, N., Clinquart, A., & Daube, G. (2004). *Salmonella spp.* les denrées alimentaires d'origine animale : Un réel problème de santé publique. *Annales de Médecine Vétérinaire*, 148, 174–193.
- Lambkin, D., Nortcliff, S., & White, T. (2004). The importance of precision in sampling sludges, biowastes and treated soils in a regulatory framework. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 23(11), 704–715. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2004.08.008>
- Abouelouafa, M., Berrichi, A., El Halouani, H., & Kharboua, M. (n.d.). Effets de la réutilisation des eaux usées brutes de la ville d'Oujda sur quelques paramètres agronomiques et bactériologiques. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 22(3). Consulté le 1 juillet 2024. <https://revues.imist.ma/index.php/jwes/article/view/20085>
- Inckel, M., De Smet, P., Tersmette, T., & Veldkamp, T. (2005). Fabrication et utilisation du compost. *Agromisa*. <https://www.fao.org/family-farming/detail/fr/c/1633882/>
- McBride, M. (2003). Toxic metals in sewage sludge-amended soils: Has promotion of beneficial use discounted the risks? *Advances in Environmental Research*, 8(1), 5–19. [https://doi.org/10.1016/S1093-0191\(02\)00141-7](https://doi.org/10.1016/S1093-0191(02)00141-7)
- Michaud, L. (2007). *Tout sur le compost : Le connaître, le faire, l'acheter et l'utiliser*. Éditions MultiMondes. <https://www.fnac.com/a1981640/Lili-Michaud-Tout-sur-le-compost>
- Mortula, M. M., Ahmed, A., Fattah, K. P., Zannerni, G., Shah, S. A., & Sharaby, A. M. (2020). Sustainable management of organic wastes in Sharjah, UAE through co-composting. *Methods and Protocols*, 3(4), 76. <https://doi.org/10.3390/mps3040076>

- Mustin, M. (1987). *Le compost : Gestion de la matière organique*. Éditions François Dubusc. <http://www.citet.nat.tn/Portail/doc/SYRACUSE/5321/le-compost-gestion-de-la-matiere-organique-michel-mustin>
- Nammari, D., Hogland, W., Marques, M., Nimmermark, S., & Moutavtchi, V. (2004). Emissions from a controlled fire in municipal solid waste bales. *Waste Management*, 24(2), 9–18. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2003.08.003>
- Paillat, J.-M. (2008). *Compostage : Processus et moyens de contrôle*. CIRAD. [https://agritrop.cirad.fr/569920/2/document\\_569920.pdf](https://agritrop.cirad.fr/569920/2/document_569920.pdf)
- Pecher, A., Blaschkowski, H. P., Knappe, K., & Böck, A. (1982). Expression of pyruvate formate-lyase of *Escherichia coli* from the cloned structural gene. *Archives of Microbiology*, 132(4), 365–371. <https://doi.org/10.1007/BF00413390>
- Pérez, S., Marinell, M., La Farré, M. J. G., & Barceló, D. (2001). Occurrence of polycyclic aromatic hydrocarbons in sewage sludge and their contribution to its toxicity in the Toxalert 100 bioassay. *Chemosphere*, 45(6–7), 705–712. [https://doi.org/10.1016/s0045-6535\(01\)00152-7](https://doi.org/10.1016/s0045-6535(01)00152-7)
- Rodier, F., Coppé, J.-P., Patil, C. K., Hoeijmakers, W. A. M., Muñoz, D. P., Raza, S. R., Freund, A., Campeau, E., Davalos, A. R., & Campisi, J. (2009). Persistent DNA damage signalling triggers senescence-associated inflammatory cytokine secretion. *Nature Cell Biology*, 11(8), 973–979. <https://doi.org/10.1038/ncb1909>
- Sahlström, L., Aspan, A., Bagge, E., Danielsson-Tham, M.-L., & Albiñ, A. (2004). Bacterial pathogen incidences in sludge from Swedish sewage treatment plants. *Water Research*, 38(8), 1989–1994. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.01.031>
- Gantzer, C., Gillerman, L., Kuznetsov, M., & Oron, G. (2001). Adsorption and survival of fecal coliforms, somatic coliphages, and F-specific RNA phages in soil irrigated with wastewater. *Water Science and Technology*, 43(12), 117–124. <https://doi.org/10.2166/wst.2001.0722>
- Tabet, M. (2015). *Étude physico-chimique et microbiologique des eaux usées et évaluation du traitement d'épuration*.
- Toze, S. (2006). Reuse of effluent water—Benefits and risks. *Water Science and Technology*, 43(10), 83-89. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.07.010>
- Vikman, M., Karjomaa, S., Kapanen, A., Wallenius, K., & Itävaara, M. (2002). The influence of lignin content and temperature on the biodegradation of lignocellulose in composting conditions. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 59, 591–598.
- Werther, J., & Ogada, T. (1999). Sewage sludge combustion. *Progress in Energy and Combustion Science*, 25(1), 55–116. [https://doi.org/10.1016/S0360-1285\(98\)00020-3](https://doi.org/10.1016/S0360-1285(98)00020-3)

Zebarth, B. J., McDougall, R., Neilsen, G., & Neilsen, D. (2000). Availability of nitrogen from municipal biosolids for dryland forage grass. *Canadian Journal of Plant Science*, 80(3), 575–582. <https://doi.org/10.4141/P99-160>

Znaïdi, I. E.-A. (2002). Étude et évaluation du compostage de différents types de matières organiques et des effets des jus de composts biologiques sur les maladies des plantes.

## *Abstract*

The CET project at the Constantine Biotechnology Research Center (CRBT) aims to address waste management challenges in Algeria, focusing on several key areas. This includes the physico-chemical characterization of organic waste fractions to valorize them in the production of fertilizing biocompost used in agriculture. Our study specifically focuses on the physico-chemical and microbiological characterization of sewage sludge and organic waste to prepare a compostable mixture.

Physico-chemical analyses reveal significant differences between sewage sludge and green waste. Sewage sludge has a slightly acidic pH, whereas green waste shows slight alkalinity. Sewage sludge exhibits high electrical conductivity, suggesting elevated salinity, and higher nitrogen content according to Kjeldahl analysis. Sewage sludge is wetter than green waste and contains less organic matter, yet it is richer in carbon. The C/N ratio of sewage sludge (13.58) is less than that of green waste (49.71), indicating a higher carbon-to-nitrogen composition in green waste.

Green waste from the wholesale fruit and vegetable market in Oued Athmania is heavily contaminated with fecal microorganisms, contrasting with sewage sludge, which shows lower contamination levels. Both types of waste contain pathogenic microorganisms such as *Clostridium sulfite-reducing bacteria*, *Vibrios*, *Salmonella*, and *Escherichia coli*.

To achieve a targeted final C/N ratio of 25, the optimal mixture comprises 68,4% sewage sludge and 31,6% green waste. This distribution underscores the significant contribution of sewage sludge (68,4% of the mixture), highlighting the increased importance of valorizing these materials through composting.

**Key words:** organic waste, sewage sludge, co-composting, physico-chemical and microbiological characterization.

**Année universitaire : 2023-2024**

**Présenté par : Mahaman Moussa Hassan**

## **Caractérisation physico-chimique et microbiologique des déchets organiques et des boues d'épuration destinés à un co-compostage**

Mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master en :  
**Ecologie fondamentale et appliquée**

### Résumé :

Le projet CET du Centre de Recherche en Biotechnologie (CRBT) de Constantine vise à résoudre les défis de gestion des déchets en Algérie, en mettant l'accent sur plusieurs axes principaux. Cela inclut la caractérisation physico-chimique de la fraction organique des déchets pour leur valorisation dans la production d'un biocompost fertilisant utilisé en agriculture. Notre objectif dans la présente étude porte sur la caractérisation physico-chimique et microbiologique des boues d'épuration et des déchets organiques, en vue de préparer un mélange compostable.

Les analyses physico-chimiques montrent des différences marquées entre les boues d'épuration et les déchets verts. Les boues d'épuration ont un pH légèrement acide, tandis que les déchets verts montrent une légère alcalinité. Elles présentent une conductivité électrique élevée, suggérant une salinité élevée. Elles sont également plus riches en azote selon l'analyse Kjeldahl. Les boues d'épuration sont plus humides que les déchets verts. En termes de matière organique, les boues d'épuration sont moins riches que les déchets verts. Elles sont cependant plus riches en carbone. Le rapport C/N des boues d'épuration est plus faible (13,58) que celui des déchets verts (49,71), ce qui indique une composition plus carbonée relative à l'azote pour les déchets verts.

Les déchets verts du marché de vente en gros de fruits et légumes de l'Oued Athmania sont fortement contaminés par des microorganismes fécaux, en contraste avec les boues qui présentent une contamination moindre. Les deux types de déchets renferment des microorganismes pathogènes comme les *Clostridium sulfito-réducteurs*, les *Vibrions*, les *Salmonelles* et *Escherichia Coli*.

Pour obtenir un rapport C/N final ciblé de 25, le mélange optimal consiste en 68,4% de boues d'épuration et 31,6% de déchets verts. Cette répartition démontre une contribution substantielle des boues d'épuration (68,4% du mélange), mettant ainsi en avant l'importance accrue de valoriser ces matériaux par compostage.

**Mots clés :** déchets organiques, boues d'épuration, co-compostage, caractérisation physico-chimique et microbiologique, rapport C/N.

**Laboratoire de recherche :** Centre de Recherche en Biotechnologie (CRBT) à Constantine

### Jury d'évaluation :

<b>Président :</b>	<b>Pr. Touati Laid,</b>	<b>Prof, UFMCI</b>
<b>Examinatrice :</b>	<b>Mme. Boughaba Rokia,</b>	<b>MAA, UFMCI</b>
<b>Encadrant :</b>	<b>M. Nourine Heidar,</b>	<b>MAA, CRBT, Constantine.</b>
<b>Co-encadrant :</b>	<b>Pr. Sahli Leila,</b>	<b>Prof, UFMCI</b>

**Date de soutenance : 12/06/2024**