

# ETUDE DU DYNAMISME MICROBIEN AU COURS DU FED-BATCH COMPOSTAGE DANS UNE TOILETTE ASSOCIE A UNE FOSSE A COMPOST

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2IE AVEC GRADE DE MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT SPECIALITE : EAU ET ASSAINISSEMENT...

Présenté et soutenu publiquement le [16/01/2020] par

## Teni DIARRASSOUBA

Directeur de mémoire : Prof. Yacouba KONATE, Enseignant 2iE

Encadrant 2iE: Seyram SOSSOU, Enseignant 2iE

Laboratoire Eaux Hydro-Systèmes et Agriculture (LEHSA) de 2iE

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : Prof. Harinaivo A. ANDRIANISA

Membres et correcteurs : Prof. Ynoussa MAIGA

Dr. Seyram SOSSOU

**Promotion 2018/2019** 

# **DEDICACES**

Je dédie ce présent mémoire à DIEU TOUT PUISSANT et à toute ma famille en particulier à ma mère **DIARRASSOUBA Korotoum** et mon oncle **DIARRASSOUBA Nagaky.** 

#### REMERCIEMENTS

Ce mémoire n'aurait pas pu être réalisé sans la contribution de près ou de loin de plusieurs personnes. C'est le lieu d'exprimer notre gratitude à tous ceux qui ont, d'une manière ou d'une autre, permis sa réalisation. Il s'agit de :

Fonds National de la Recherche et de l'Innovation pour le Développement (FONRID) pour avoir financé ce projet.

Pr .Yacouba KONATE, Enseignant Chercheur à 2iE, Responsable du laboratoire LEHSA-2iE et directeur de ce mémoire.

Dr. Seyram SOSSOU, Enseignant chercheur, mon Encadreur scientifique pour m'avoir accordé ce stage et pour sa disponibilité tout au long de ce travail.

Dr. Boukary SAWADOGO, Enseignant-Chercheur à 2iE, pour sa disponibilité et ses conseils.

M. Noël TIENDOURE et M. Moustapha OUEDRAO techniciens du laboratoire pour leur disponibilité et conseil durant ce travail.

Tous les membres du jury pour leurs critiques à apporter pour l'amélioration du document.

Tout le personnel du laboratoire LEHSA-2iE, pour avoir mis à ma disposition le matériel d'analyses.

Tout le corps professoral de 2iE, pour la qualité de son enseignement.

Tous mes camarades et stagiaires du Laboratoire pour les bons moments passés ensemble au Laboratoire et en dehors du Laboratoire.

#### RESUME.

La valorisation des excréments humains est une conséquence positive pour l'environnement et pour l'être humain. En effet, elle permet non seulement d'amoindrir les risques de dispersion des micropolluants et des germes pathogènes, mais aussi la production des fertilisants agricoles à travers le compostage. La présente étude, dont l'objectif est de contribuer à l'amélioration des conditions de vie des populations à travers le développement d'une toilette à compostage associée à une fosse afin d'évaluer la qualité du compost obtenu, a permis de faire le suivi des paramètres physico-chimique (pH, conductivité, la température) et microbiologique (bactéries hétérotrophes, actinomycètes, mycètes, microorganismes de contamination fécale et pathogène) dans deux toilettes (TSUE et TAUE) et dans deux fosses. Le processus de compostage a duré 75 jours dans les toilettes et 45 jours dans les fosses. La qualité hygiénique des deux composts a été évaluée par la détermination des microorganismes de contamination fécale et des pathogènes tandis que la maturité a été évaluée par la réalisation d'un test de germination. Les valeurs de l'Indice de Germination (IG) trouvée à la fin du processus dans les fosses étaient pour la majorité toutes > 80 % témoignant l'état mature des composts. Le suivi de l'évolution des paramètres microbiologiques et physico-chimique a montré des résultats satisfaisants pour la maturité et la stabilité. La présence des œufs d'helminthes (130 œufs/g dans la FTAUE et 100oeufs/g dans la FTSUE) ainsi que celle des coliformes fécaux (5,02 E+01UFC/g dans la FTAUE et 6,4 E+01UFC/g dans FTSUE) et streptocoques fécaux (2,99 E+02 UFC/g et 3,3 E+01UFC/g) trouvés dans les derniers échantillons témoignent que les composts produits ne présentent pas une qualité hygiénique satisfaisante pour être utilisés en agriculture. Cependant, le compost produit dans la TSUE présente une meilleure qualité hygiénique que celui produit dans la TAUE.

#### Mots Clés:

- 1 Dynamisme microbien
- 2 Fed Batch
- 3 Fosse à compost
- 4 Maturité et stabilité
- 5 Qualité hygiénique

#### **ABSTRACT**

The valorization of human excrement is a positive consequence for the environment and the human being. In fact, not only it reduces the risk of dispersal of micro-pollutant and pathogens, but also allows the production agricultural fertilizers through composting. The aim of this study was to contribute to improve of the living conditions of the populations through the development of a composting toilet associated with a composting pit in order to guarantee the quality of the compost. Physicochemical parameters (pH, conductivity, temperature) and microbiological parameters (heterotrophic bacteria, actinomycetes, fungi, fecal contamination microorganisms and pathogens) in two toilets (TSUE and TAUE) and in two pits. The process lasted 75 days in the toilets and 45 days in the pits. Fecal indicators and pathogens monitored the hygienic quality of both composts while maturity was evaluated by germination tests. The Germination Index (IG) values indicated in the process in the pits were all > 80% testifies to the mature state of the composts. Monitoring the evolution of microbiological and physicochemical parameters has shown satisfactory results for maturity and stability. The presence of helminth eggs (130 eggs / g in the FTAUE and 100 eggs / g in the FTSUE) as well as that of the faecal coliforms (5.02E + 01UFC / g in the FTAUE and 6,4E + 01UFC / g in FTSUE) and fecal streptococci (2,99E + 02 CFU / g in the FTAUE and 3,3E + 01UFC / g in the FTSUE) found in the latest samples indicate that the composts produced do not have a hygienic quality satisfactory for use in agriculture. However, the compost produced in the TSUE has a better hygienic quality than that produced in the TAUE.

## **Key words:**

- 1 Composting pit
- 2 Fed-Batch
- 3 Microbial dynamic
- 4 Maturity and stability
- 5 Quality hygienic

#### LISTE DES ABREVIATIONS

**CF**: Coliformes Fécaux

**CREPA:** Centre Régional pour l'Eau Potable et l'Assainissement

**COT:** Carbone Organique Total

FTAUE: Fosse de la Toilette avec Utilisation d'Eau

FTSUE: Fosse de la Toilette sans Utilisation d'Eau

**IG:** Indice de Germination

**ODD:** Objectif du Développement Durable

**OMD:** Objectifs du Millénaire pour le développement

**OMS**: Organisation Mondiale de la Santé

pH: Potentiel Hydrogène

PNAEPA: Programme National d'Approvisionnement en Eau Potable et d'Assainissement

PNDES: Programme National de Développement Economique et Social

**SF**: Streptocoques Fécaux

**TAUE:** Toilette avec utilisation d'Eau

**TSUE:** Toilette sans utilisation d'Eau

**UNICEF:** Fonds des Nations unies pour l'enfance

**UFC:** Unité Formant Colonie

**W**: Teneur en eau

# **SOMMAIRE**

Di	<b>EDIC</b> A	ACES	i
RI	EMER	CIEMENTS	ii
RI	ESUM.	E	iii
Al	BSTRA	ACT	iv
Ll	STE L	DES ABREVIATIONS	v
SC	<i>OMMA</i>	IRE	1
Ll	STE L	DES TABLEAUX	4
Ll	STE L	DES FIGURES	5
I	INT	RODUCTION	6
	I.1.	Contexte et problématique	6
	I.2.	Objectifs de l'étude	8
II	SYN	NTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	9
	II.1.	Définition de quelques mots et concepts	9
	II.1.		
	II.1.2	2. Compostage	10
	II.1.3	3. Fosse à compost	10
	II.2.	Problématique de l'assainissement dans les pays en voie de développement	10
	II.3.	Problématique de l'assainissement au Burina Faso	11
	II.4.	Cadre règlementaire et institutionnel au Burkina Faso	13
	II.4.	Cadre législatif et réglementaire	13
	II.4.2	2. Cadre institutionnel de l'assainissement	15
	II.5.	Différents types de compostage	16
	II.6.	Différents types de toilettes à composts	18
	II.7.	Différentes cultures microbiennes	19
	II.8.	Dynamisme microbien	21
	II.8.	Microorganismes responsables de la dégradation de la matière	21
	II.8.2	2. Les bactéries indicatrices de contamination fécales.	23
	II.8.3	3. Microorganismes pathogènes	24

II.9	9. P	aramètres du dynamisme microbien	25
I	II.9.1.	La température	25
I	II.9.2.	Humidité	26
I	II.9.3.	Aération ou oxygénation	26
I	II.9.4.	Le rapport Carbone/Azote (C/N)	27
I	II.9.5.	Le pH	27
II.1	10.	Qualité du compost (maturité et stabilité)	28
III	MA	TERIEL ET METHODES	29
III.	.1. I	ngrédients	29
III.	.2. I	Dispositif expérimental et son fonctionnement	29
III.	.3. E	chantillonnage	32
III.	.4. A	nalyses et mesure des différents paramètres	32
I	III.4.1.	Mesure de la température	32
I	III.4.2.	pH	32
I	III.4.3.	Teneur en eau	33
I	III.4.4.	Paramètres microbiologiques de dégradation de la matière	33
IV I	RESL	LTATS ET DISCUSSIONS	38
IV.	.1. F		
IV.		volution des différents paramètres dans les toilettes	38
Ι	IV.1.1.	volution des différents paramètres dans les toilettes Température	<b>38</b>
I		volution des différents paramètres dans les toilettes TempératurepH	38 38
I I I	IV.1.1. IV.1.2.	TempératurepH	
I I I	IV.1.1. IV.1.2. IV.1.3.	volution des différents paramètres dans les toilettes TempératurepH	
I I I I	[V.1.1. [V.1.2. [V.1.3. [V.1.4.	Température	38394041
I I I I I	IV.1.1. IV.1.2. IV.1.3. IV.1.4. IV.1.5.	Température	
I I I I I	IV.1.1. IV.1.2. IV.1.3. IV.1.4. IV.1.5. IV.1.6.	Température	
I I I I I	(V.1.1. (V.1.2. (V.1.3. (V.1.4. (V.1.5. (V.1.6. (V.1.7. (V.1.8.	Température	
I I I I I I I I I I I I I I I I I I I	(V.1.1. (V.1.2. (V.1.3. (V.1.4. (V.1.5. (V.1.6. (V.1.7. (V.1.8.	Température	
II	(V.1.1. (V.1.2. (V.1.3. (V.1.4. (V.1.5. (V.1.6. (V.1.7. (V.1.8. (V.1.8.	Température	
II	(V.1.1. (V.1.2. (V.1.3. (V.1.4. (V.1.5. (V.1.6. (V.1.7. (V.1.8. <b>2. E</b> (V.2.1.	Température	
I I I I I I I I I I I I I I I I I I I	(V.1.1. (V.1.2. (V.1.3. (V.1.4. (V.1.5. (V.1.6. (V.1.7. (V.1.8. (V.1.8. (V.2.1. (V.2.2.	Température	
I I I I I I I I I I I I I I I I I I I	(V.1.1. (V.1.2. (V.1.3. (V.1.4. (V.1.5. (V.1.6. (V.1.7. (V.1.8. (V.1.8. (V.2.1. (V.2.1. (V.2.2. (V.2.3.	Température	
I I I I I I I I I I I I I I I I I I I	(V.1.1. (V.1.2. (V.1.3. (V.1.4. (V.1.5. (V.1.6. (V.1.7. (V.1.8. <b>2. E</b> (V.2.1. (V.2.2. (V.2.3. (V.2.4.	Température	
I I I I I I I I I I I I I I I I I I I	(V.1.1. (V.1.2. (V.1.3. (V.1.4. (V.1.5. (V.1.6. (V.1.7. (V.1.8. (V.2.1. (V.2.2. (V.2.3. (V.2.4. (V.2.5.	Température	

IV.3. Ev	raluation de la maturité et de la stabilité des composts dans les fo	osses 60
IV.3.1.	Stabilité des composts	60
IV.3.2.	IV.3.2 Maturité des composts	61
IV.4. Ev	aluation de la qualité hygiénique	61
V . CONC	CLUSION et perspectives	64
ANNEXES.		69

# LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Conditions d'ensemencement pour la microbiologie dégradateur de la matière	34
Tableau II : Conditions d'ensemencement des bactéries nitrifiantes et oxydatrices	34
Tableau III : Conditions d'ensemencement des bactéries denitrifiantes	35
Tableau IV : Récapitulatif des conditions d'ensemencement pour la qualité hygiénique	36
Tableau V : Evaluation de la qualité hygiénique des composts	63

# LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Taux d'accès à l'assainissement familial en zone rurale	12
Figure 2 : Taux d'accès à l'assainissement familial en zone urbaine	13
Figure 3 : Schéma de toilette à compost à séparation d'urine	19
Figure 4 : Schéma du bioréacteur	21
Figure 5 : Influence entre les différents paramètres	27
Figure 6 : Schéma (A) et photo (B) de la toilette	29
Figure 7 : Schéma (A) et photo (B) du réacteur	30
Figure 8 : Schéma (A) et photo (B) de la fosse	31
Figure 9 : Evolution de la température dans les toilettes	39
Figure 10 : Evolution du pH dans les toilettes	40
Figure 11 : Evolution de la teneur en eau dans les toilettes	41
Figure 12 : Evolution des bactéries hétérotrophes dans les toilettes	42
Figure 13 : Evolution des actinomycètes et des mycètes dans les toilettes	44
Figure 14 : Evolution des bactéries nitrifiantes et oxydatrices d'ammonium (A) et dénitrifiantes (B)	46
Figure 15 : Evolution des Coliformes fécaux et <i>E. coli</i> dans les toilettes	48
Figure 16: Evolution des Streptocoques fécaux dans les toilettes	48
Figure 17: Evolution des salmonelles dans les toilettes	49
Figure 18 : Evolution des œufs d'helminthes dans les toilettes	50
Figure 19 : Evolution de la température dans les fosses	51
Figure 20 : Evolution du pH dans les fosses	52
Figure 21 : Evolution de la teneur en eau dans les fosses	53
Figure 22 : Evolution des bactéries hétérotrophes dans les fosses	54
Figure 23 : Evolution des actinomycètes et mycètes dans les fosses	55
Figure 24 : Microorganismes de dégradation de la matière	55
Figure 25 : Evolution des bactéries oxydatrices d'ammonium (A) et nitrifiantes (B) dans les fosses	56
Figure 26 : Evolution des bactéries denitrifiantes dans les fosses	57
Figure 27: Evolution des CF et SF dans les fosses	58
Figure 28 : Evolution des salmonelles (A) et des œufs d'helminthes (B)	60
Figure 29 : Evolution des IG (A) et résultats du test de Germination (B)	61

# I INTRODUCTION

# I.1. Contexte et problématique

Dans le monde, l'un des plus grands problèmes de l'espèce humaine est le faible taux d'accès à des structures d'assainissement (autonomes et collectifs) adéquat pour une population de plus en plus importante. A la fin des OMD (Objectifs du Millénaire pour le Développement) en 2015, près de 2,4 milliards de personnes ne disposaient toujours pas d'un assainissement amélioré dont 71 % en milieu rural (UNICEF et OMS, 2015). La proportion de la population mondiale ayant accès à des installations d'assainissement améliorées a été estimée à 68 %. Plus d'1 milliard de personnes, soit 15 % de la population mondiale pratiquaient la défécation à l'air libre à ces dates dont 90 % dans les zones rurales (UNICEF et OMS, 2015).

Entamé depuis 2016 les Objectifs de Développement Durable (ODD) à travers l'objectif numéro 6 visent à garantir l'accès à l'eau et à l'assainissement pour tous à l'horizon 2030 et notamment mettre fin à la défécation à l'air libre. Près de 60 % de la population, soit environ 4,5 milliards d'êtres humains dans le monde, n'ont pas des toilettes adéquates et 892 millions d'entre eux pratiquent la défécation à l'air libre (OMS et UNICEF, 2017). Ce taux de couverture loin d'être satisfaisant, est la cause de la propagation des maladies oro-fécales, qui sont à l'origine du taux élevé de la morbidité et mortalité dans le monde entier. En effet, la présence de microorganismes pathogènes dans certaines eaux destinées à la consommation est due au rejet des eaux usées non traitées et à la défécation à l'air libre constituant un risque élevé pour la santé publique.

En Afrique, environ 63 % de la population en 2009 n'avait pas accès à des installations adéquates d'évacuation des excréta (EAU VIVE, 2010). Ce qui a conduit plus précisément une majeure partie de la population en Afrique Subsaharienne à la défécation à l'air libre occasionnant de nombreuses maladies. Selon le rapport du programme commun OMS et UNICEF (2017) du suivi de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement, deux millions d'enfants meurent chaque année de maladies provoquées par la pollution des eaux à travers les matières fécales. Environ la moitié de ce taux de mortalité provient de l'Afrique Subsaharienne plus particulièrement dans les zones rurales.

Le Burkina Faso, reconnu dans la sous-région pour ses efforts consentis dans le domaine de l'assainissement n'est pas en marge de ce fléau. Selon le rapport, bilan 2016 du Programme National d'Approvisionnement en Eau Potable et d'Assainissement (PN-AEPA), le taux d'accès à un assainissement adéquat était d'environ 36,8 % en milieu urbain et de 13,4 % en

milieu rural. Cette situation signifie qu'une part importante de la population n'a pas accès à des toilettes et utilise la nature comme lieu de défécation. Pour faire face à cette situation, l'assainissement autonome est encouragé dans la plupart des pays subsahariens. C'est, ce qui est le cas de la ville de Ouagadougou au Burkina où environ 95 % de la population avait recours à des structures d'assainissement autonomes en 2009 pour la gestion des eaux usées et excrétas (Bassan et al. 2012). Pour exemple, des technologies d'assainissement telles que des toilettes à compost ont été développées et installées dans des familles (Sou et al., 2017; Sou et al., 2018). Ce qui permet de réduire l'utilisation des toilettes à chasse manuelle coûteuse et utilisant de grandes quantités d'eau, environ 30 à 60 litres par jour et par personne (Jean et al., 2017). Cependant, les composts produits dans ces toilettes n'étaient pas matures et hygiéniquement acceptables à cause du processus de compostage incomplet (Sossou et al., 2016). En effet, les toilettes à composts utilisant les déchets végétaux comme agent de charge ont la capacité de détruire les pathogènes contenus dans les excréments humains pendant le compostage. Malheureusement dans certains pays comme le cas du Burkina Faso le matériel local utilisé pour fabriquer ces toilettes ne permet pas de maintenir une température assez élevée pendant longtemps pour la destruction des pathogènes (Sossou et al., 2014). Il apparait donc nécessaire de trouver des solutions afin de compléter l'inactivation des pathogènes dans les composts provenant des toilettes à composts.

D'ailleurs dans certaines toilettes, le compostage par Fed-Batch est réalisé à travers une défécation continuelle dans la toilette. Toutefois le compost produit dans ces toilettes n'est ni mature ni stable pour une utilisation en agriculture (Sou et al., 2018). L'association d'une toilette à compost à une fosse habituellement utilisée dans les zones rurales au Burkina serait envisageable pour compléter le processus de compostage afin d'obtenir un compost mature et sans danger. De plus selon Bologo et al., (2017), lors d'une évaluation sociologique de l'acceptation du projet pilote ECOSAN certaines communautés burkinabés n'ont pas accepté la pratique de la séparation de l'urine des matières fécales encouragée par la toilette écologique ECOSAN.

Ainsi donc, dans cette étude, les fèces et les urines seront recueillies ensemble et soumises directement au processus de compostage. Le processus d'expérimentation consistera en un premier temps de soumettre directement à un compostage par la biodégradation de la matière organique et l'inactivation des agents pathogènes, les excréta humains recueilli par défécation dans la toilette à compost. Une deuxième étape consistera à soumettre le compost produit par la toilette à un processus de compostage dans une fosse à compost afin de détruire

complètement les agents pathogènes et de faire mûrir le compost final.

Cependant le développement d'un tel dispositif d'expérimentation requiert une meilleure maitrise du comportement des paramètres microbiologiques et physico-chimiques dans le substrat à composter afin d'obtenir de bon résultat, c'est-à-dire une meilleure élimination des pathogènes et un compost de qualité répondant aux normes d'utilisation en agriculture.

# I.2. Objectifs de l'étude

Cette étude a comme objectif général de contribuer à l'amélioration des conditions de vie des populations à travers le développent d'une toilette à compost associée à une fosse à stockage. De manière très spécifique il s'agira de :

- ✓ Faire un suivi du dynamisme microbien au cours du compostage Fed-batch dans la toilette à compost
- ✓ Faire un suivi du dynamisme microbien au cours du batch compostage dans la fosse à compost
- ✓ Evaluer la qualité des composts obtenus (stabilité, maturité et qualité hygiénique)

Ce document est structuré en trois parties :

- ✓ La première sera consacrée à une bibliographie autour du thème
- ✓ La deuxième présentera le matériel et les méthodes utilisées pour conduire l'étude
- ✓ La troisième partie portera sur l'analyse des résultats obtenus ainsi qu'une discussion de ces résultats.

Le travail s'achèvera par une conclusion et des perspectives.

# II SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

# II.1. Définition de quelques mots et concepts

#### II.1.1. Assainissement autonome

Il désigne tout système d'assainissement effectuant la collecte, le prétraitement, l'épuration, l'infiltration ou le rejet des eaux usées et des excrétas humains domestiques des immeubles non raccordés au réseau public d'assainissement. C'est également une installation privée liée à une habitation ou un groupe d'habitation qui doit être capable de traiter les eaux usées et les excrétas humains avant leur rejet dans la nature ou leur utilisation pour d'autres fins (Ngueffo et Machin, 2007). Il est le plus souvent désigné par l'ensemble des toilettes ou latrines dans la plupart des zones rurales en Afrique qui sont juste des moyens de stockage des excréments

## > Toilette, toilette à compost.

#### ➤ Toilette

Toilette désigne un local consacré à la discrétion et à l'intimité des êtres humains du moment de soulagement volontaire des déjections corporelles (urines et défécation). Souvent appelé latrine, elle peut être de type traditionnelle c'est à dire composé d'une fosse non ventilée recouverte soit d'une dalle circulaire ou rectangulaire en béton, soit d'une planche posée en travers de la fosse, ou encore d'un simple assemblage de branches recouvertes de terre et une superstructure le plus souvent en banco. Dans la latrine traditionnelle, deux processus limitent le remplissage de la fosse : la lixiviation et la dégradation (Tilley et al., 2008). L'urine et l'eau de nettoyage anal s'infiltrent dans le sol tandis que les micro-organismes dégradent une fraction de la matière organique. Les principaux inconvénients pour cette latrine sont les odeurs et la prolifération des mouches et elle est sujette à des risques sanitaires et environnementaux élevés. Elle peut par contre être de type moderne, c'est-à-dire composé d'un siège et d'une chasse à eau, permettant d'évacuer les déjections dans les fosses septiques ou les envoyer aux réseaux d'égouts.

## ✓ Toilette sèche à compost

Une toilette sèche ou toilette à compost est une toilette qui fonctionne avec peu ou sans utilisation d'eau. Elle sert à la production du compost, précieux amendement pour tous les sols pauvres par un système de traitement principalement aérobie des excréments humains. Elle est faite d'une superstructure souvent construite en briques, en bois de construction, en amiante, en feuilles métalliques, avec de l'herbe ou tout autre matériel qui préserve l'intimité de l'utilisateur. Elle ne dégage pas d'odeurs et est parfaitement hygiénique et munie d'un

réceptacle dans lequel la matière à composter est réceptionnée. La superstructure de cette toilette est généralement équipée d'une porte et d'un toit préservant le réceptacle des eaux de pluie.(Morgan, 2007) (Schéma et photos en annexe 1).

## II.1.2. Compostage

Le compostage peut être défini comme étant un processus naturel par lequel les microorganismes dans des conditions bien définies dégradent ou décomposent la matière première organique telle que les résidus de culture, les déjections animales ou humaines, les restes alimentaires, certains déchets urbains et industriels appropriés pour obtenir un produit fini stable, hygiénique et mature riche en composés humiques appelés compost (Hiraoka et al., 2005). Le compost obtenu est appliqué aux sols en tant que fertilisant pour la croissance des cultures et joue certains rôles importants comme l'amélioration des propriétés biologiques et physico-chimiques du sol. Il augmente la capacité de rétention d'eau, prévient l'érosion et améliore la structure et l'aération des sols. Pour Francou (2003) le compostage est un processus contrôlé de dégradation des constituants organiques d'origine végétale et animale, par une succession de communautés microbiennes évoluant en condition aérobie, entraînant une montée en température, et conduisant à l'élaboration d'une matière organique humifiée et stabilisée. Le produit ainsi obtenu et appelé compost.

#### II.1.3. Fosse à compost

Une fosse à compost est une cavité large creusée ayant la capacité de conserver l'humidité et de maintenir une température élevée pour occasionner une meilleure hygiénisation lors d'un compostage. Elle est le plus souvent bétonnée pour éviter d'éventuelles remontées de nappe et a une profondeur comprise généralement entre 40 et 80 cm (Lebrise et al., 2006)

# II.2. Problématique de l'assainissement dans les pays en voie de développement

Un des défis majeurs pour les pays en développement est d'assurer un accès à des structures d'assainissements adéquats pour une population de plus en plus grimpante. En effet le manque d'assainissement dans de nombreux pays en développement constitue un véritable fardeau pour la santé de la population. La quasi inexistante d'infrastructures adéquates d'assainissement augmente le risque de contact avec les excréta, qui sont souvent des vecteurs d'organismes pathogènes dangereux pour la santé humaine. Selon les chiffres de OMS et Unicef (2000) chaque année, environ 4 milliards de cas de diarrhée provoquent 2,2 millions de décès, la

plupart chez des enfants de moins de cinq ans, ce qui équivaut un enfant mourant toutes les 15 secondes ou 20 gros porteurs s'écrasant chaque jour. Ces décès représentent approximativement 15 % de l'ensemble des décès d'enfants de moins de 5 ans dans les pays en développement. Malgré les efforts liés à la déclaration des OMD et de l'objectif numéro 6 des ODD la situation de l'assainissement en générale dans les pays en développement est loin d'être satisfaisante, car une majeure partie de ces pays n'a pas accès à des installations sanitaires améliorées. Dans les pays en développement environ la moitié de la population tant urbaine que rurale avait recourt à des latrines traditionnelles en 2007, car seulement 40 % de cette population jouissait d'un raccordement privé aux réseaux de canalisation (Morella., 2008) Ce taux faible d'accès à l'assainissement a exposé la majeure partie de la population surtout en milieu rural à la pratique de la défécation à l'air libre. En Afrique subsaharienne environ 30 % de la population avait recours à la défécation à ciel ouvert en 2007. Selon un rapport du PNUD (2010) environ 50 % de la population dans plusieurs pays en Afrique de l'Ouest pratique la défécation à ciel ouvert avec le Niger en tête (79 %), le Tchad (65 %), le Burkina (64 %), la Mauritanie (53 %), le Liberia (49 %) et la Guinée Bissau (43 %).

# II.3. Problématique de l'assainissement au Burina Faso

Le Burkina Faso tout comme la majorité des pays sahéliens, la question de gestion des déchets solides, des eaux pluviales, des eaux usées et excrétas demeurent un problème tant au niveau politique, économique et sociale. En effet en plus d'un taux faible de scolarisation accompagné par un manque d'emploi et d'un taux faible de revenu salarial, les problèmes liés à l'assainissement constituent un facteur clé de pauvreté et un frein au développement économique à travers leurs incidences sur la santé de la population et la dégradation de l'environnement. Dans la plupart des villes à l'exception de Ouagadougou et Bobo Dioulasso où des avancés remarquables en matière d'assainissement sont observé, les municipalités en charge de la gestion du volet assainissement sont insuffisantes devant ce phénomène du à l'insuffisance des moyens financiers et d'outils adéquats. Selon l'Enquête Nationale sur l'accès des ménages aux ouvrages d'Assainissement (ENA) réalisé en 2011, en milieu rural seul 0,8 % de la population avait accès à un assainissement familial adéquat. Ce taux a connu une évolution importante et est passé à 12 % en 2015, tandis qu'en milieu urbain, le taux d'accès à l'assainissement des ménages était de 21,49 % en 2010 ; en 2015, ce taux n'a que peu évolué puisqu'il n'atteint que 34,2 % (rapports bilans 2010 et 2015 du PN-AEPA), ce qui traduit une augmentation dans la réalisation des infrastructures d'assainissement sur le territoire. Parlant toujours d'infrastructures d'assainissements, une légère augmentation a été observée de 2015 à 2016, ce taux qui était de 12 % est passé à 13,4 % en milieu rural et de 34,2 % à 36,8 % en milieu urbain (Rapport bilan PN-AEPA 2016). Si bien qu'une augmentation dans la réalisation a été observée sur l'ensemble du territoire National, la cible qui a été fixée afin d'être en phase avec les (OMD) en 2016 c'est-à-dire 15 % du taux d'assainissement en zone rurale et 38 % en zone urbaine n'a pas été atteinte. D'où il reste encore des efforts à mener dans ce domaine avec une population de plus en plus galopante. Les figures 1 et 2 présentent respectivement le taux d'accès à l'assainissement familial en zone rurale et urbaine. L'observation de ces figures montre une augmentation de l'accès à l'assainissement entre 2007 et 2015 aussi bien en milieu rural qu'en milieu urbain. Certes, des efforts remarquables ont été consentis dans la réalisation des infrastructures pour satisfaire la population, cependant ce taux d'accès restait toujours insuffisant avec l'augmentation rapide de la population observée entre 2010 et 2015.



Source: Rapport bilan PN-AEPA 2015

Figure 1 : Taux d'accès à l'assainissement familial en zone rurale

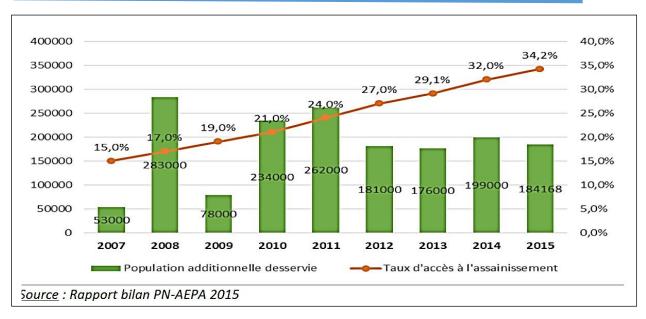


Figure 2 : Taux d'accès à l'assainissement familial en zone urbaine

# II.4. Cadre règlementaire et institutionnel au Burkina Faso

## II.4.1. Cadre législatif et réglementaire

Le Burkina Faso a connu ces dernières années l'adoption et la mise en œuvre de textes fondamentaux qui ont permis des avancées significatives, techniques et institutionnelles dans le secteur de l'assainissement. Au nombre de ces documents de cadrage, on peut citer (MINISTERE DE L'EAU ET DE L'ASSAINISSEMENT, 2016)

## • Code général des collectivités territoriales

La loi n° 055-2004/AN portant Code général des collectivités territoriales au Burkina Faso (CGCT) et révisé en 2009 comporte d'importantes dispositions relatives à l'eau. Elle reconnaît aux collectivités territoriales, des attributions en matière de santé et d'hygiène.

En ce qui concerne les régions, elles sont compétentes en matière d'hygiène pour la réglementation et prise de mesures relatives à l'hygiène, à la salubrité et à la prévention des maladies. En ce qui concerne les communes, elles sont compétentes d'une part, pour la prise de mesures d'hygiène et de salubrité dans leur ressort territorial et d'autre part, pour le contrôle de l'application des règlements sanitaires (CGCT, art. 93).

## Loi d'orientation sur le développement durable

La loi n° 008-2014/AN portant loi d'orientation sur le développement durable au Burkina Faso vise à créer un cadre national unifié de référence pour assurer la cohérence des interventions des acteurs à travers des réformes juridiques, politiques et institutionnelles appropriées, en

garantissant l'efficacité économique, la viabilité environnementale et l'équité sociale dans toutes les actions de développement.

Cette loi entretient des liens généraux avec l'assainissement, à travers le pilier environnemental qui concerne le cadre de vie

#### Code de l'environnement

La loi nº 06-2013/AN du 02 avril 2013 portant Code de l'environnement au Burkina Faso détermine les principes fondamentaux applicables à l'environnement et aux ressources naturelles, dont les ressources en eau. Elle contient plusieurs dispositions relatives à l'assainissement du milieu naturel (art. 47-94). S'agissant particulièrement de l'assainissement lié à l'eau, elle dispose qu'en vue de la gestion des eaux de pluie, des eaux usées et des excréta issues des habitations ou des établissements classés, il est institué dans chaque commune, un système d'assainissement collectif et un système d'assainissement non collectif. En situation d'assainissement collectif, le raccordement des immeubles, des habitations et des établissements classés au réseau d'assainissement collectif est obligatoire dans un délai de deux ans suivant la mise en service du réseau. Passé ce délai, l'établissement communal pour l'assainissement des eaux met tout contrevenant en demeure d'opérer ledit raccordement. Lorsque la mise en demeure est restée vaine, l'établissement réalise les travaux de raccordement aux frais du contrevenant. Pour ce qui concerne l'assainissement non collectif, le système d'assainissement mis en place doit être conforme à la réglementation en vigueur sous peine de sanctions administratives ou contraventionnelles (art. 80). Toute opération de lotissement doit intégrer la réalisation préalable d'ouvrages d'assainissement appropriés (art. 82).

## • Code de l'hygiène publique

La loi n° 022-2005/AN du 24 mai 2005 portant Code de l'hygiène publique au Burkina Faso a pour objectif principal de préserver et de promouvoir la santé publique. S'agissant particulièrement de l'assainissement des eaux usées et excréta, l'article 28 rend obligatoire, les normes d'hygiène et d'assainissement en vigueur au niveau des habitations. A cet effet, tout propriétaire d'habitation doit pourvoir son habitation de système d'évacuation et de traitement des eaux usées ménagères et des excréta conformément à la réglementation en vigueur en matière d'autorisation de construire. Ces systèmes doivent être fonctionnels et hygiéniquement entretenus.

#### • Code de la santé publique

La Loi n° 23/94/ADP portant Code de la Santé publique définit les droits et les devoirs inhérents

à la protection et à la promotion de la santé de la population afin de donner à l'individu et à la collectivité, un niveau de santé qui lui permette de mener une vie socialement acceptable et économiquement productive.

#### II.4.2. Cadre institutionnel de l'assainissement

Du point de vue, institutionnel au Burkina Faso se sont plusieurs organismes nationaux ou non nationaux qui interviennent dans le secteur de l'assainissement subdivisé en sous-secteurs (Eau Vive, 2010). Il s'agit notamment des organismes suivants :

## • Le gouvernement central

Le gouvernement central est composé de plusieurs ministères qui interviennent dans la gestion de l'assainissement avec des compétences réparties suivant les différents sous-secteurs de l'assainissement définis par le document de politique et stratégies. Ces différents organismes sont les suivants :

✓ Le Ministère chargé de l'Environnement, qui assure la responsabilité dans la coordination de la politique et de la stratégie sectorielle d'assainissement et qui a en particulier la responsabilité des sous-secteurs déchets solides, déchets liquides et déchets gazeux en concertation avec les Ministères de la Santé, de l'Eau, de l'Habitat, de l'Urbanisme, de l'Enseignement et de la Recherche.

✓ Le Ministère de l'Eau et de l'Assainissement, pour la partie eaux usées et excréta des sous-secteurs, déchets liquides et déchets solides en concertation avec les Ministères en chargé de la santé, l'habitat, de l'urbanisme, de l'éducation et de l'environnement.

✓ L'Office Nationale de l'Eau et l'Assainissement (ONEA), ayant pour rôle la création

et la gestion de toutes les infrastructures servant à l'assainissement et à la gestion des systèmes de production et de distribution d'eau potable ou brute dans les centres urbains et semi-urbains du Burkina Faso.

## • Les collectivités territoriales

Le code général des collectivités territoriales indique très clairement la responsabilité et le rôle central des communes dans la mise en œuvre de la politique et la stratégie nationale

d'assainissement. Les Communes assurent la maîtrise d'ouvrage locale en assainissement en fonction de leurs capacités. Elles élaborent des plans communaux d'action pour l'environnement en matière d'assainissement, de lutte contre l'insalubrité, les pollutions et nuisances.

## Le secteur privé

Ce sont les structures opérationnelles compétentes dans la réalisation des ouvrages, les prestations de services, les prestations d'études, d'appui-conseil et de formation. Elles bénéficient de concessions ou de marchés sur commande des Ministères, des institutions sous tutelle ministérielle, des communes ainsi que d'ONG.

## • Les organismes non gouvernementaux

Ce sont des maillons de proximité en matière de communication entre les communautés et les acteurs institutionnels et économiques. Dans la mise en œuvre de la stratégie d'assainissement, leur concours sera recherché. Les ONG jouent également un rôle d'appui technique et financier aux initiatives de base des populations.

# II.5. Différents types de compostage

Selon Albrecht (2007), les différents types de compostage les plus couramment pratiqués sont le compostage aérobie, le compostage anaérobie et le vermicompostage qui reste un procédé moyennement pratiqué dans la plupart des pays africains.

## • Le compostage anaérobie

Il est encore appelé compostage en environnement clos ou compostage intérieur regroupant des techniques telles que le compostage en casier, en lits rectangulaires remués, en silos et en tambour rotatif (Hiraoka et al., 2005). Ce type de compostage se déroule lorsque l'oxygène dans le milieu est en quantité minime ou est absent. Les microorganismes anaérobies sont en quantité majoritaire dans le milieu et ils favorisent la formation de composés intermédiaires comme le méthane, les acides organiques, du sulfure d'hydrogène et d'autres substances. Bien que ce type se déroule dans des superficies moindres que celles du compostage aérobie et dans un environnement stable permettant le contrôle des différents paramètres tels que la teneur en eau, l'aération et la température, les graines d'adventices et les pathogènes ne sont pas beaucoup affectés dans ce type de compostage, car les températures sont le plus souvent basses (Hiraoka et al., 2005).

## • Le compostage aérobie

Les techniques de compostage aérobie encore appelé compostage en andains sont des méthodes simples dans lesquelles la dégradation se fait à l'air libre et qui en général demandent un temps assez long. Lors de ce type de compostage, les microorganismes aérobies décomposent la matière organique pour produire du gaz carbonique (CO2), de l'ammoniac, de l'eau, de la chaleur et de l'humus, qui est le produit organique final relativement stable. Au cours de ce processus de compostage, des composés organiques intermédiaires comme certains acides organiques sont produits et sont ensuite détruits par les microorganismes aérobies. La chaleur générée accélère la décomposition des protéines, des graisses et des sucres complexes tels que la cellulose et l'hémicellulose et réduit la durée du processus. Pendant le compostage aérobie, de nombreux microorganismes qui sont pathogènes pour les humains et les plantes ainsi que les graines d'adventices sont détruits (Hiraoka et al., 2005). Le compostage aérobie renferme les techniques telles que les andains retournés, les andains aérés passivement et les tas statiques aérés.

## • Le vermicompostage

Le vermicompostage ou lombricompostage est le compostage qui nécessite l'utilisation des vers de terre ou des vers rouges pour décomposer les déchets organiques. Ces vers sont capables d'absorber l'équivalent de leur propre poids par jour et peuvent consommer pratiquement tous les types de matières organiques. Les espèces généralement utilisées sont de genres Eisenia Foetida, Eisenia Andrei et Eisenia Hortensis. Pour Hiraoka et al., (2005) il ne s'agit pas d'un compostage en tant que tel, car les matières organiques ne sont pas décomposées par les microorganismes, mais par dégradation enzymatique via le système digestif des vers de terre. Quatre facteurs sont nécessaires pour mener à bien le processus de vermicompostage et produire un vermicompost de qualité.

- Les bons vers de terre
- Les conditions environnementales adéquates
- Les bonnes matières premières
- Le système de vermicompostage approprié.

Ce type de compostage ne peut s'effectuer qu'à des températures comprises entre 0 °C et 35 °C, car la plupart des vers meurent au-delà de 35 °C.

# II.6. Différents types de toilettes à composts

Divers types de toilettes à compost existent. Si bien que les pays occidentaux fabriquent de multiples systèmes, les pays en voie de développement font avec les moyens de bord. Cependant une multitude de procédée en fonction des contraintes locales et du contexte existent. D'un point de vue pratique on peut distinguer deux types de toilettes sèches à compost : les toilettes sèches sans séparation d'urine et fèces dites « unitaires » et celles avec séparation des urines et des matières fécales.

## • Les toilettes avec séparation d'urines à la source

Ces types de toilettes utilisent un siège spécial avec une sorte de creux dans lequel l'urine tombe à l'avant du siège avant d'être détournée par un tuyau. Les urines sont séparées des fèces qui elles, tombent directement dans une fosse ou dans un autre récipient. De la cendre de bois ou de la terre sèche est souvent ajoutée pour couvrir les fèces après chaque utilisation. Ceci couvre le dépôt, assèche sa surface et le rend plus manipulable. L'avantage de cette méthode est que l'urine peut être collectée séparément pour être utilisée comme engrais liquide. Aussi les fèces, étant dans un état presque sec, sont beaucoup plus faciles à manipuler et sont moins dangereuses qu'au départ, même si elles contenaient des agents pathogènes. Étant à moitié sèche, leur odeur est réduite et leur potentiel d'attraction de mouches est alors beaucoup moins important que si elles étaient mélangées aux urines. Au final, les fèces seront complètement compostées.

## • Les toilettes sans séparation d'urine (unitaires)

Dans ces types de toilettes, le principe est basé sur la récupération et le traitement conjointement des fèces et urines (Leney, 2017). Les excréments (fèces et urines) sont recueillis directement dans la chambre à compostage ou réceptacle où l'on ajoute de la litière à chaque utilisation qui est le plus souvent de la sciure de bois ou copeaux de bois pour effet d'absorber les liquides, d'empêcher les odeurs, d'améliorer l'aération des matières stockées et d'augmenter le rapport carbone/azote.

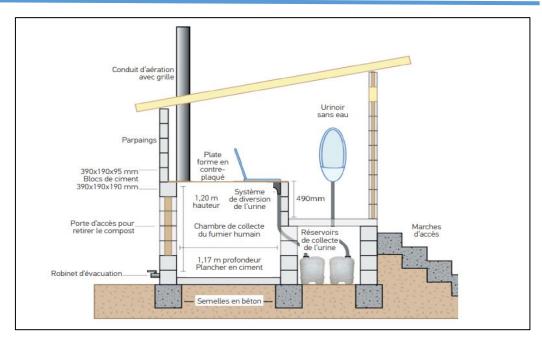


Figure 3 : Schéma de toilette à compost à séparation d'urine

## II.7. Différentes cultures microbiennes

Il est possible d'utiliser divers techniques pour alimenter les composteurs avec le substrat lors des processus de compostage appelés cultures microbiennes. Pour ce qui concerne l'utilisation des conteneurs ou bacs et les bioréacteurs pour le compostage, les cultures microbiennes les plus utilisées sont le compostage de façon continu, discontinu et le compostage semi-continu ou Fed Batch Compostage. Elles se diffèrent dans la manière d'alimentation du composteur par la matière organique à composter.

## • Les cultures microbiennes discontinues

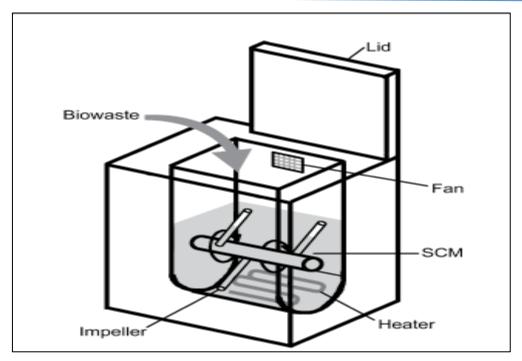
Pour cette technique le composteur est rempli entièrement avec la matière à composter, fermé et est ouvert que lorsque le processus de compostage est terminé. Ce processus peut prendre plusieurs mois à un an voir plus d'un an. Ce procédé présente comme avantages une technologie plus simple et donc plus fiable, la possibilité accrue de faire appel aux entreprises locales pour la construction et la maintenance. Pour les toilettes à compostage, le principe est tel que le compartiment ou le réceptacle recueille la matière organique (fèces et agent carboné) jusqu'à ce qu'il soit rempli (pas totalement plein) et la matière est ensuite laissée sur place pour que le compostage continue. Lorsque le réceptacle est amovible, il peut être retiré de la chambre de la toilette et conduit dans un autre lieu pour poursuivre le compostage. Après plusieurs mois dans le composteur, la matière peut être mise dans une fosse peu profonde afin de terminer le compostage (Leney, 2017).

#### • Les cultures microbiennes continues.

Dans ce cas, le composteur ou le réceptacle est rempli de la matière à composter. Il est ensuite laissé plusieurs mois jusqu'à ce que la matière soit bien décomposée. Une fois le compost prêt, on le retire régulièrement, et on y ajoute de la matière organique à chaque extrait du compost, le processus de compostage (dégradation de la matière) se déroule ainsi de façon continue, il n'est stoppé que lorsque le dernier apport de matière organique est totalement décomposé. Dans la pratique on s'arrange à ce que la quantité de compost qui a été enlevé, soit introduite en substrat dans le composteur (Leney, 2017). La réalisation des systèmes de toilettes à compostage continu nécessite des coûts plus élevés que ceux des systèmes de toilettes discontinues, car la présence de radiateurs et de ventilateurs souvent électriques est nécessaire pour éviter les odeurs, brasser la matière et actionner la chambre.

## • Les cultures microbiennes semi-continues ou Fed-Batch Composting (FBC)

Les cultures microbiennes Fed-Batch se déroulent généralement avec l'utilisation des bioréacteurs de compostage. C'est une nouvelle technologie qui a vu le jour et se développe dans les pays asiatiques comme le Japon, l'Inde, la Chine et autres. La caractéristique des techniques Fed-Batch est l'absence de la phase thermophile dans la dégradation de la matière organique au cours du processus de compostage (Takashi and Akira, 2005). En effet, les températures dans le réacteur dépassent rarement 50 °C à cause du matériel utilisé pour la fabrication du bioréacteur d'où l'absence de la phase thermophile au cours du processus de compostage. Dans la pratique le réacteur se charge régulièrement avec la matière à composter durant tout le processus de compostage qui peut durer un, deux ou trois mois selon l'expérience à mener. A chaque ajout, l'ensemble est homogénéisé à l'aide d'une manivelle fixée à un mixeur pour aérer le milieu (Yasuyuki et Akira, 2009).



Source: (NARIHIRO et IRAISHI, 2005)

Figure 4 : Schéma du bioréacteur

# II.8. Dynamisme microbien

## II.8.1. Microorganismes responsables de la dégradation de la matière

La microbiologie du compostage peut être caractérisée par la quantité totale de microorganismes présents (ou biomasse microbienne), la diversité des communautés microbiennes et leur structure ou encore l'activité des microorganismes (Lashermes, 2010). Au cours du compostage un changement substantiel de ces aspects est observé jusqu'à l'état mature du compost présentant une forte diversité microbienne et une faible activité biologique (Ryckeboer et al., 2003). Lors du processus de compostage, une très grande diversité microbienne se succède dans la dégradation de la matière et est différente en nombre de celle de la matière organique initiale. Ryckeboer et al., (2003), dans une étude ont montré la présence de 155 espèces de procaryotes, dont 33 actinomycètes, et de 408 espèces fongiques. La microbiologie du compostage étant complexe dans sa description à cause de la grande variation des populations dues au changement physico-chimique (température, pH, etc.), les chercheurs ont le plus souvent mis l'accent sur des microorganismes particuliers afin de caractériser les microorganismes et leur évolution impliqués dans le processus de compostage. Pour amorcer le processus de compostage, les microorganismes impliqués sont les bactéries hétérotrophes mésophiles. Elles attaquent le substrat en modifiant le milieu pour le rendre favorable à

l'installation des autres espèces. Cette première implication des bactéries dite phase de dégradation est caractérisée par une forte activité microbienne de celles-ci dégradant ainsi les composés les plus facilement biodégradables comme les protéines, les lipides et les glucides (Babaammi, 2014). Suite au métabolisme microbien, la température du compost s'élève et peut atteindre des températures variant de 50 à 70 °C (Lashermes, 2010), les microorganismes se développant préférentiellement à des températures situées entre 25 °C et 45 °C sont inactivés ou tués et font place aux bactéries, actinomycètes, et les champignons thermophiles ou thermorésistants (Ryckeboer et al., 2003). Les actinomycètes peuvent croitre lorsque la température atteint 45 °C à 55 °C, ce qui correspond à leur optimum de croissance (Nakasaki et al., 1985), alors que les champignons thermophiles ont une température optimale de développement comprise entre 40 et 55 °C avec un maximum de 60 ° C. En effet c'est au cours de cette phase thermophile que les polymères comme la lignine et la cellulose sont dégradés par les champignons thermophiles.

#### • Les batteries

Les bactéries représentent les plus petits et les plus nombreux microorganismes dans les composts et sont responsables de la majeure partie de la dégradation de la matière organique et de la production de chaleur. Présentes sous des formes et tailles variables, ces bactéries sont composées des bactéries oxydant l'hydrogène, le sulfure, les nitrites et nitrates et des bactéries fixatrices d'azote. Elles restent activent durant tout le processus de compostage (Trautmann et Krasny, 1997). Sous des conditions idéales, les bactéries mésophiles sont les premiers microorganismes qui par leurs activités intenses dégradent la matière et font monter la température dans les premiers jours de compostage (Strom, 1985). Lorsque les températures atteignent 60 °C à 70 °C les bactéries mésophiles disparaissent et laissent la place aux bactéries thermophiles. Cependant quand les températures redescendent après quelques jours, les microorganismes mésophiles qui ont survécu à la montée de température (thermo tolérance ou spores) reprennent le dessus. Dans des composts où la phase thermophile est maintenue artificiellement à 50-60 °C pendant plusieurs jours, les bactéries du genre Bacillus constituent la majorité des bactéries isolées. Cependant, lorsque la température d'incubation atteint 65 °C Bacillus stearothermophilus est la seule espèce représentée (Strom, 1985). Certaines bactéries thermophiles dont Bacillus steathemophzilzus, et Clostridium thermocelum sont dominantes dans les composts (Trautmann et Krasny, 1997)

## • Les actinomycètes

Les actinomycètes sont pour la plupart des bactéries filamenteuses qui produisent des spores.

Leurs spores ne sont pas aussi résistantes que les endospores bactériennes mais elles leur permettent de survivre à une dessiccation prolongée. Les actinomycètes sont des bactéries aérobies et neutrophiles, c'est-à-dire que leur croissance est meilleure à des pH neutres ou légèrement alcalins (Trautmann et Krasny, 1997). Certains genres d'actinomycètes considérés comme thermophiles (*Thermomonospora*) apparaissent et croissent à des températures comprises entre 50-60 °C, et d'autres deviennent importants pendant la phase de refroidissement (Trautmann and Krasny, 1997). Les actinomycètes peuvent utiliser une grande variété de substrats carbonés et sont bien connus pour leur capacité à sécréter des enzymes extracellulaires dégradant des grands polymères comme la lignine, la cellulose, l'hémicellulose, la pectine et la chitine (Nakasaki et al., 1985). Les actinomycètes se développent surtout dans les phases de maturation du compost alors qu'il ne reste que des polymères comme la cellulose ou la lignine dans les composts (Znaidi, 2002). Les genres *Streptomyces* et *Nocardia* représentent environ 90 % de la biomasse des actinomycètes présents dans le compost. Les actinomycètes sont souvent associés aux odeurs aromatiques du sol ou des composts matures (Babaammi, 2014).

### • Les Mycètes ou champignons

Les mycètes sont souvent retrouvés dans les systèmes en compostage dans la phase de maturation lorsque la température est plus basse et que les seuls substrats disponibles sont des polymères complexes (Charnay, 2005). Ceux-ci préfèrent des conditions aérobies et peuvent croitre à une large gamme de pH (2-9), même si certains champignons (*Geotrichim candidum*. *AspergiIIus fimigatus,Tonda thennophila*) peuvent croitre a des températures au-dessus de 50 °C (Ryckeboer et al., 2003), la plupart des champignons sont sensibles a une trop forte augmentation de température et par conséquent se développent difficilement durant la phase thermophile.

## II.8.2. Les bactéries indicatrices de contamination fécales.

Les bactéries indicatrices de contamination fécales sont établies dans l'appareil intestinal et présentes dans les excréta humains ou animaux. Leur présence dans les composts est donc utilisée comme indicateur de contamination fécale. Elles sont constituées de plusieurs groupes à savoir les streptocoques fécaux, les coliformes totaux et les coliformes fécaux dont *Escherichia coli* qui représente l'organisme cible habituellement utilisé pour identifier la contamination fécale dans l'environnement. Pour Niwagaba et al. (2015) cet indicateur n'est pas fiable à 100 %, car il existe en particulier des bactéries du même genre qu'*Escherichia* qui

peuvent se développer dans l'environnement. Des méthodes de mesure existent pour quantifier les coliformes totaux, les coliformes fécaux et *E. coli*. Ces bactéries sont utilisées comme indicateurs de la pollution fécale dans l'environnement mais ne sont pas liées à la contamination virale ou protozoaire. Elles ne fournissent donc pas nécessairement une bonne indication de la réduction de l'ensemble des pathogènes.

## II.8.3. Microorganismes pathogènes

Le substrat à composter qu'il soit des boues de vidanges, des déchets verts, des fèces humaines, ou animales contient des microorganismes pathogènes qui doivent être éliminés par le traitement. Il existe beaucoup d'organismes pathogènes vivants dans les matières à composter, cependant les plus recherchés sont considérés comme des indicateurs et doivent répondre à certaines conditions. Selon Mara (2004), les conditions auxquelles doivent répondre les microorganismes pour être considéré comme des indicateurs sont les suivantes :

- Avoir une origine fécale uniquement
- Etre représenté en plus grand nombre que les germes pathogènes concernés
- Présenter les mêmes mécanismes d'élimination que les germes pathogènes concernent ou similaires
- Etre simple, peu couteux, précis et fiable à mesurer.

Dans la littérature les plus souvent recherchés sont (les œufs d'helminthes et les salmonelles)

#### Les œufs d'helminthes

Les helminthes constituent l'indicateur le plus utilisé pour évaluer l'efficacité de la réduction des germes pathogènes dans les boues de vidange, les composts en raison de leur prévalence dans les pays en voie de développement et de leur résistance au traitement. Les helminthes (vers parasites) sont des parasites eucaryotes que l'on trouve couramment chez un tiers de la population mondiale environ (Niwagaba et al., 2015). La famille des helminthes englobe les nématodes (vers ronds), les cestodes (vers plats) et les trématodes (douves). Ils sont à surveiller, car les œufs d'une seule personne contaminée peuvent infecter des centaines d'autres personnes. L'indicateur le plus couramment utilisé est *Ascaris lumbricoïdes*, un ver de type rond, car d'une part ses œufs en font l'un des pathogènes les plus résistants aux processus de traitement et, d'autre part, ils peuvent être identifies relativement facilement (Niwagaba et al., 2015). La capacité des œufs d'*Ascaris lumbricoïdes* à rester viables est due à leur coquille particulièrement imperméable, considérée comme l'une des structures biologiques les plus

résistantes. Cette coque permet les échanges gazeux respiratoires essentiels, tout en protégeant les œufs contre une large gamme de produits chimiques et de conditions de pH extrêmes. L'observation d'une élimination des œufs d'*Ascaris* indique donc que les germes pathogènes moins résistants ont également été éliminés ou inactifs. Utiliser les œufs d'helminthes comme indicateur de l'élimination des germes pathogènes peut se faire à travers leur dénombrement, mais aussi à travers l'évaluation, plus sensible, de leur viabilité.

#### • Les salmonelles

Salmonella est une bactérie, ou microbe, qui est souvent présent dans l'estomac et les intestins des animaux de compagnie et des animaux sauvages, elle crée la maladie appelée salmonellose. Il existe plusieurs types de la bactérie Salmonella. Une personne infectée par la bactérie devient atteinte de salmonellose, qu'on appelle parfois un empoisonnement alimentaire. Cette bactérie est recherchée dans les composts, car elle est dangereuse et peut contaminer, le manipulateur du compost.

# II.9. Paramètres du dynamisme microbien

## II.9.1. La température

La température est considérée comme un des paramètres clés du compostage, car son évolution détermine le résultat de l'activité microbienne. En effet son évolution au cours du processus de compostage permet de distinguer les différentes phases du compostage lié à l'implication des microorganismes responsable de la dégradation de la matière organique. Sa variation au cours du processus de compostage permet de déterminer quatre phases que sont : la phase mésophile, thermophile, refroidissement et maturation (Lashermes., 2010).

• La phase mésophile : elle est la première phase du processus de compostage.

Durant cette phase les microorganismes mésophiles (bactéries hétérotrophes et certains champignons mésophiles) sont présents en quantité importante et dégradent la matière organique facilement biodégradable. L'activité de ces microorganismes engendre une monté de la température de 10 à 40 °C et un dégagement de CO<sub>2</sub> (Znaidi, 2002)

• La phase thermophile : au cours de cette phase, les températures s'élèvent et atteignent 60 à 70 °C auxquelles ne résistent que les bactéries thermophiles et les populations de champignons et actinomycètes thermophiles. Une forte dégradation de la matière organique est observée à cette phase y compris les composés les plus complexes comme les lignines, les

celluloses et les hémicelluloses. Les pertes d'azote sous forme ammoniacale (NH4+) et une élimination des pathogènes sont importantes au cours de cette phase (Francou, 2003).

- La phase de refroidissement : C'est la phase comprise entre la phase de maturation et thermophile. Elle est caractérisée par une recolonisation du milieu par les microorganismes mésophiles qui vont ainsi attaquer les polymères non dégradés pendant la phase thermophile. Elle est dite phase de refroidissement, car une diminution de la matière facilement biodégradable va provoquer un ralentissement de l'activité microbienne d'où une chute de la température observée. Cette phase peut se faire de façon très lente ou très rapide en fonction des conditions climatiques du milieu (Francou, 2003).
- La phase de maturation : elle termine le processus de compostage et est caractérisée par une activité microbienne lente et une chute à nouveau de la température. Les champignons sont à nouveau présents dans le compost et dégradent lentement les composés résistants (Hiraoka et al., 2005). C'est la plus longue phase du processus de compostage au cours de laquelle on observe à une humification et une stabilité du compost (Lashermes, 2010). Certains macroorganismes comme les lombrics sont présents pendant cette phase qui dure jusqu'à l'utilisation du compost.

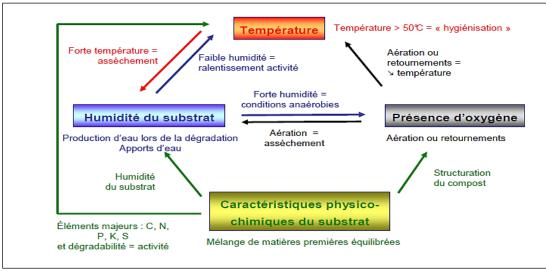
## II.9.2. Humidité

L'humidité du substrat est un paramètre important dans le processus de compostage, car le taux d'humidité dans le substrat va conditionner les échanges en oxygènes et donc l'activité microbienne. L'humidité nécessaire pour assurer l'activité métabolique des microorganismes est celle permettant un bon compromis entre l'aération du milieu et sa teneur en eau (FRANCOU, 2003). Le taux d'humidité idéal pour un bon compostage se situe généralement entre 40 % et 65 % avec une humidité optimale se situant entre 50 % et 80 % de la masse brute totale (Lashermes., 2010). Lorsque le taux d'humidité est très faible, seuls les champignons restent dans le milieu et cela entraine une baisse de l'activité microbienne, par contre un taux d'humidité trop élevé occasionne en revanche des conditions anaérobies défavorables.

#### II.9.3. Aération ou oxygénation

Les microorganismes pour bien effectuer l'activité microbienne ont besoin d'oxygène, car ils l'utilisent pour oxyder la matière organique. L'aération est la source d'oxygène qui est un paramètre indispensable pour le compostage aérobie. Lorsque le taux d'oxygène n'est pas suffisant, l'activité des microorganismes est limitée ce qui entraine un ralentissement de la dégradation de la matière organique d'où le ralentissement du processus de compostage. Une

mauvaise aération peut également provoquer une perte d'azote sous forme de (NH<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>) (Znaidi, 2002). La température, l'humidité et l'oxygénation sont des facteurs qui interagissent entre eux et influencent largement l'activité des microorganismes. Lashermes, (2010) à travers un schéma a montré l'influence entre ces différents paramètres.



Source: (Lashermes., 2010)

Figure 5 : Influence entre les différents paramètres

## II.9.4. Le rapport Carbone/Azote (C/N)

Les microorganismes pour vivre ont besoin des éléments nutritifs comme C, N, K, P contenus dans le substrat qu'ils attaquent et dégradent afin de s'en servir. Le rapport C/N semble être le facteur le plus important de ces éléments, influençant l'activité microbienne. En effet un C/N trop élevé indique une carence du milieu en azote (N) par rapport au carbone (C), ce qui entraine une baisse de l'activité microbienne par conséquent un ralentissement du processus de compostage. En revanche lorsque le C/N est trop faible l'azote (N) est en excès par rapport au carbone et peut entrainer une importante perte d'azote (Lashermes., 2010). Différentes valeurs de C/N sont données dans la littérature sur le compost, cependant un C/N compris entre 25 et 40 semble être idéal pour un compostage satisfaisant (Francou, 2003) ;Babaammi, 2014).

## II.9.5. Le pH

Le pH comme les paramètres cités précédemment influence l'activité des micro-organismes. Au début du compostage, les microorganismes par leur activité produisent des acides organiques et du gaz carbonique qui ont tendance à acidifier la masse en compostage, si le substrat est trop acide au départ, un ralentissement d'évolution peut être observé (Francou, 2003). En effet lorsque le pH du milieu est acide les bactéries et champignons mésophiles se

développement dans le milieu et dégradent la matière organique, si cette acidité dure, les microorganismes mésophiles restent longtemps dans le milieu entrainant ainsi le prolongement de cette phase par conséquent ralentis le processus de compostage. Alors qu'en pH basique se développent plutôt les actinomycètes et les bactéries alcalines.

# II.10. Qualité du compost (maturité et stabilité)

La principale exigence d'un compost pour pouvoir être utilisé en toute sécurité dans le sol est un degré élevé de stabilité ou de maturité, ce qui implique une stabilité de la teneur en matière organique (MO) et une absence de composés phytotoxiques et agents pathogènes des plantes ou des animaux. La maturité est associée à la croissance des plantes ou à la phytotoxicité potentielle (Bernal et al., 2008), alors que la stabilité est souvent liée à l'activité microbienne du compost. Cependant, la stabilité et la maturité vont généralement de pair, car les composés phytotoxiques sont produits par les microorganismes dans les composts instables (Zucconi et al., 1985). La maturité et la stabilité du compost sont souvent utilisées de manière interchangeable. Cependant, ils font chacun référence à des propriétés spécifiques de ces matériaux. La stabilité fait référence à un stade spécifique ou à un état de la matière organique pendant le compostage, qui est liée aux types de produits biologiques composés restants et l'activité biologique résultante dans le matériel. Plusieurs définitions pour la stabilité du compost ont été utilisées, Bernal et al. (1998) ont lié la stabilité à l'activité microbienne et donc le potentiel de génération d'odeur désagréable.

La maturité est le degré de complétude du compostage et implique de meilleures qualités résultant du vieillissement ou du traitement d'un produit. Selon ADAS Consulting Limited (2005), un compost mature est un compost qui ne présente aucun effet négatif sur la germination et la croissance des plantes. La maturité n'est pas décrite par une propriété unique et la qualité de l'évaluation est mieux évaluée en mesurant deux paramètres ou plus de compost. La maturité est en partie affectée par la stabilité relative de la matière, mais décrit également l'impact des propriétés chimiques d'un autre compost sur le développement des plantes. Quelques composts immatures peuvent contenir de grandes quantités d'ammoniac libre, certains acides organiques ou autres composés solubles dans l'eau pouvant limiter la germination des graines et le développement des racines. Toutes les utilisations du compost nécessitent une maturité de celuici dépourvu de ces composants potentiellement phytotoxiques. Un certain nombre de critères et de paramètres ont été proposés pour les tests de maturité des composts. Les paramètres de maturité sont basés sur différentes propriétés; physique, chimique et biologique, y compris l'activité microbienne (Bernal et al., 2008).

# III MATERIEL ET METHODES

# III.1. Ingrédients

Le substrat à composter au cours de l'expérimentation est composé notamment de la sciure de bois qui a été choisie, car disponible en quantité dans la ville de Ouagadougou et ayant un rapport C/N compris entre 100 et 500, des fèces humaines, de l'urine avec de l'eau ou sans eau selon le mode d'utilisation. La sciure de bois a été prise dans une scierie dans la ville, quant aux fèces elles sont apportées quotidiennement par les utilisateurs durant le processus de compostage. En se servant de la fiche de marquage qui était présente dans la toilette pour déterminer le nombre d'utilisations par jour, on a noté 138 utilisations au total. En supposant qu'une personne émet 137 g de fèces par jour (Gnagne et al., 2006), 18,90 kg de fèces et 5 kg de sciure de bois ont servi pour l'expérimentation.

# III.2. Dispositif expérimental et son fonctionnement

#### • Toilette

La toilette constitue l'élément essentiel du dispositif utilisé pour cette étude. Elle est dimensionnée sur la base d'une utilisation de 6 personnes au maximum et est située à la station d'épuration (STEP) des eaux usées de 2IE (Figure 6). Elle est munie d'un réacteur amovible.

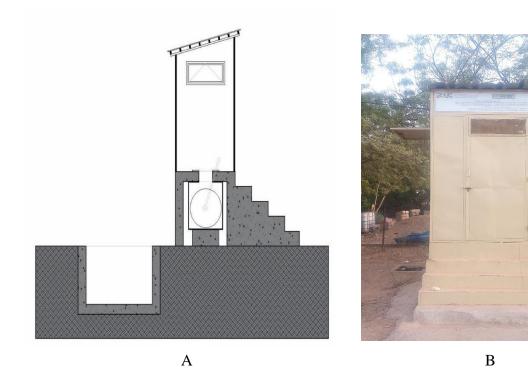


Figure 6 : Schéma (A) et photo (B) de la toilette

## • Réacteur

Le réacteur utilisé est de type « Morino Eco-Toilet », d'un volume de 105 L avec un mélangeur de forme cylindrique et un arbre à commande manuelle (Figure 7), pour bien faire le mélange des fèces et de la sciure de bois à l'intérieur afin d'apporter de l'oxygène aux microorganismes leur permettra de dégrader la matière organique.

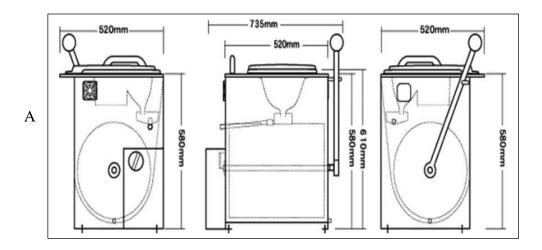




Figure 7 : Schéma (A) et photo (B) du réacteur

#### Fosses

A côté de la toilette, deux fosses sont construites de 50 cm de longueur, 50 cm de largeur et 40 cm de profondeur chacune (Figure 8). Elles ont servi pour le stockage du compost après le processus de compostage dans de la toilette afin de poursuivre la maturation, la stabilisation et l'hygiénisation.

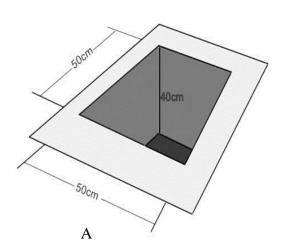




Figure 8 : Schéma (A) et photo (B) de la fosse

В

#### **✓** Fonctionnement du dispositif

Les expérimentations au cours de l'étude se sont effectuées en deux phases, de périodes différentes dans la même toilette. Une première qui a consistée d'utiliser la toilette sans eau de lavage anal dans la période allant de novembre à janvier 2018. Et une deuxième où la toilette a été utilisée avec l'eau de lavage anal dans la période allant d'avril à juillet 2019. Les résultats de ces deux expériences seront donnés dans la partie résultats et discutions.

Pour commencer le processus, une quantité de sciure de bois a été mesurée et mise dans le réacteur le remplissant au ¼ de son volume. Une fiche de marquage était disponible au sein de la toilette pour permettre à chaque usager de marquer son passage, ce qui a permis de quantifier la quantité de fèces utilisée à la fin du processus. Au maximum un passage de 6 personnes par jour à la toilette a été recommandé pour déféquer et à chaque passage une certaine quantité d'eau ou un papier toilette est utilisé pour le nettoyage anal. L'usager doit s'assurer d'y ajouter une poignée de sciure de bois à son passage et de bien faire tourner la commande manuelle pour faciliter le mixage. En effet la sciure de bois est ajoutée aux fèces pour équilibrer le rapport C/N et permet également l'apport d'oxygène.

Le processus de compostage a été lancé pour 75 jours dans la toilette, durée convenable pour les expériences préliminaires de de toutes les matières biodégradables contenues dans les fèces

humaines (Bai et Wang, 2001). Au cours de ce processus, les paramètres microbiologiques (les microorganismes de biodégradabilité, les germes indicateurs de contamination fécale et les microorganismes pathogènes) et physico-chimiques ont été mesurés. Pour ce qui concerne la température, elle était mesurée sur place alors que pour les autres paramètres, des échantillons étaient prélevés et analysés au laboratoire. Au sortir des analyses des courbes tracées à l'aide de Microsoft Excel ont permis d'observer l'évolution des différents paramètres impliqués dans la biodégradabilité et l'élimination des pathogènes. Après 75 jours de compostage dans la toilette, le réacteur a été retiré, le compost pesé et mis dans une fosse pour continuer le processus d'hygiénisation, de stabilisation et de maturité. Durant cette étape dans la fosse, les mêmes paramètres suivis dans la toilette ont été suivis pendant 45 jours afin d'obtenir un compost de qualité répondant aux normes d'utilisation en agriculture.

### III.3. Echantillonnage

Le prélèvement des échantillons se faisait manuellement chaque 5 jour de la semaine. Avant chaque échantillonnage, l'ensemble était bien homogénéisé et le prélèvement s'effectuait dans au moins 3 parties à l'intérieur du corps du réacteur. Pour tout échantillonnage, au moins 100 g de compost était prélevé et mis dans des sacs en plastique pour l'analyse des différents paramètres au laboratoire. Toutes les analyses se sont effectuées au Laboratoire Eaux Hydro-Systèmes et Agriculture (LEHSA) de 2iE.

# III.4. Analyses et mesure des différents paramètres

### III.4.1. Mesure de la température

Les mesures des températures se faisaient avec un thermomètre digital (TPI Model 343) tous les jours durant les 75 jours d'expérimentation dans la toilette et durant les 45 jours dans la fosse. La sonde était directement plongée dans le corps du réacteur au sein de la matrice ou dans le tas dans la fosse et l'on lisait la valeur affichée par le thermomètre lorsqu'elle devenait stable. Dans la pratique, on plongeait la sonde dans trois endroits et verticalement à mi-surface et au fond du compost, ensuite on faisait la moyenne des différentes valeurs trouvées pour déterminer la valeur de la température. Chaque jour la température était mesurée 2 fois, le matin aux environs de 8 h et l'après-midi à 14 h.

#### *III.4.2. pH*

La mesure du pH s'est faite en diluant 20 g de compost dans 50 ml d'eau distillée, après une agitation de 30 min, la valeur du pH a été déterminée à l'aide d'un multiparamètre *HANNA* HI

9828 à électrode en plongeant la sonde dans la solution obtenue.

#### III.4.3. Teneur en eau

La teneur en eau a été mesurée le même jour après chaque échantillonnage en passant 10 g de l'échantillon de compost à l'étuve (Memmert 871629) à 105 °C pendant 24 h. L'équation suivante a permis de faire le calcul de la teneur en eau :

$$\%W_{\rm H2O} = (\frac{(m0 - m1)}{m0}) * 100$$

- $%W_{\rm H2O}$ : teneur en eau de l'échantillon
- m0 (g): masse initiale de l'échantillon avant passage à l'étuve
- m1 (g): masse de l'échantillon après étuvage

### III.4.4. Paramètres microbiologiques de dégradation de la matière

### III.4.4.1 Bactéries hétérotrophes, actinomycètes et mycètes

Les microorganismes dégradateur de la matière organique composés des bactéries hétérotrophes, des actinomycètes et des mycètes ont été déterminés à partir d'une solution mère préparée en diluant 10 g de compost dans 90 ml d'eau peptone tamponnée et bien agitée afin d'homogénéiser la solution. 1 ml de l'échantillon mère a été prélevé, dilué dans 9 ml de solution de Ringer pour obtenir une dilution de  $10^{-1}$  et bien agité au vortex. De cette nouvelle solution des dilutions en cascades ou en série ont été effectuées à l'aide de la solution de Ringer et 1 ml de chaque dilution a été ensemencé en profondeur dans des boites à Pétri contenant des milieux de culture spécifiques, toutes ces boites sont par la suite incubées à l'étuve (Memmert) à des températures différentes (Tableau I).

Tableau I:Conditions d'ensemencement pour la microbiologie dégradateur de la matière

Groupe cultivé	Température	Temps d'incubation	Milieu de culture	Références	
Bactéries hétérotrophes (BH)	30 °C, 37 °C	18-24 h	Nutri agar	(Parthasarathi et al. 2007)	
Actinomycètes	30 °C, 37 °C	10-12 jours	Sabouraud Agar	(Parthasarathi et al. 2007)	
Mycètes	25 °C, 28 °C	4-7 jours	Sabouraud Agar	(Parthasarathi et al. 2007)	

Les résultats ont été donnés en Unité Formant Colonie (UFC) par 100 g d'échantillon ou par g d'échantillon par la formule ci-dessous :

$$(\mathit{UFC}/100g(poids\ humide) = \frac{\mathit{Nombre}\ de\ colonies\ compt\'es}{\mathit{poids}\ de\ l'\'echantillon\ humide\ en\ g} x 100$$

### III.4.4.2 Bactéries oxydatrices d'ammonium et de nitrite

L'analyse des bactéries oxydatrices d'ammonium et nitrifiante s'est faite suivant la méthode d'ensemencement en milieu de culture solide. Le tableau II présente les conditions d'ensemencement et l'annexe 2 montre le protocole et les réactifs du milieu reconstitué.

Tableau II : Conditions d'ensemencement des bactéries nitrifiantes et oxydatrices

Paramètres	Méthode	Milieu de culture	Température d'incubation	Durée d'incubation	Références
Bactéries oxydatrices d'ammonium	Ensemencement en milieu de culture solide	Reconstitué : Sulphate d'ammonium Carbonate de calcium, Agar Agar	25 °-28 °C	7 jours	Allison (1965); (Tiedje, 1994)
Bactéries nitrifiantes	Ensemencement en milieu de culture solide	Reconstitué : Nitrate de Sodium, Carbonate de calcium, agar agar		7 jours	

#### III.4.4.3 Bactéries denitrifiantes

Les analyses pour les bactéries denitrifiantes ont été effectuées en préparant une solution mère par mélange de 10 g de compost dans 90 ml d'eau peptone tamponnée. 1 ml de cette solution a été prélevé puis dilué dans 9 ml de solution de Ringer et bien agité au vortex. Des dilutions en cascades allant de (10<sup>-1</sup> à 10<sup>-5</sup>) ont ensuite été effectuées à partir de cette nouvelle solution. Une autre nouvelle solution appelée «solution D» a été obtenue par mélange de trois autres solutions nommées A, B, et C. Dans trois tubes par dilution contenant chacun 10 ml de la solution D, on y ajoute 1 ml de la solution de même dilution. Tous les tubes ont ensuite été incubés à l'étuve (memmert). La composition des réactifs pour la préparation des solutions A, B et C est donnée à l'annexe (3). Le tableau III donne les conditions d'ensemencement.

Tableau III : Conditions d'ensemencement des bactéries denitrifiantes

Paramètres	Méthode	Milieu de culture	Température d'incubation	Durée d'incubation	Références
Bactéries denitrifiantes	Ensemencement en milieu de culture liquide : Nombre le Plus Probable	Reconstitué : Glycérol, peptone, KNO3	25-28 °C	21 jours	Allison (1965); (Tiedje 1994); (Woomer 1994)

#### III.4.4.4 Analyse des indicateurs de contamination fécale (CF, E. coli et SF)

La détermination des Coliformes, *E. coli* et Streptocoques fécaux s'est faite de façon successive sur tous les échantillons de la toilette et de la fosse. Une solution mère a été préparée en diluant 10 g de compost dans 90 ml d'eau peptone tamponnée et bien agitée afin d'homogénéiser la solution. Après des dilutions en cascade ont été effectuées dans du Ringer, 1 ml de chaque dilution a été ensemencé en profondeur dans des boites à Pétri contenant des milieux de culture sélectifs, toutes ces boites sont par la suite incubées à l'étuve à des températures différentes (Tableau IV).

Tableau IV : Récapitulatif des conditions d'ensemencement pour la qualité hygiénique

bactéries	milieu de culture	méthode d'ensemencement	température et durée d'incubation	références
Coliformes fécaux et <i>E</i> . <i>coli</i>	chromocult -coliform -Agar	profondeur	44 °C- 24 h	9215A (ALPHA AWWA, 1998)
Streptocoques fécaux	enterococus -Agar	profondeur	37 °C- 48H	9215A (ALPHA AWWA, 1998)

#### III.4.4.5 Analyse des microorganismes pathogènes

### III.4.4.5.1 <u>Bactéries salmonelles</u>

L'analyse des bactéries salmonelles dans les échantillons de compost au laboratoire s'est faite en deux étapes : une étape d'enrichissement avec le Rappaport et la phase d'isolement utilisant le milieu sélectif XLD- Agar. La première phase a consisté à préparer une solution mère en ajoutant 10 g de compost dans 90 ml d'eau pitonnée. 1 ml de cette solution mère a suivi des dilutions en cascade allant de (10° à 10⁻⁵) avec la solution de Ringer. Dans trois tubes contenant chacun 10 ml de Rappaport Vassiliadis, on y ajoute 1 ml de chaque dilution correspondante (Annexe 4), ensuite tous les tubes ont été incubés à l'étuve à 37 °C pendant 24 h. Les tubes positifs ayant viré au jaune ou jaune verdâtre ont subi un autre test dit test de confirmation qui représente la deuxième étape. Dans cette étape les tubes positifs ont été ensemencés à l'aide d'une pipette Pasteur dans des boites à Pétri contenant le milieu sélectif XLD- Agar et incubé à l'étuve à 37 °C pendant 24 h. Les boites de Pétri positifs seront celles représentant des colonies rouges au centre noir, les colonies de salmonelles seront enfin dénombrées en utilisant la méthode du Nombre le Plus Probable (NPP) à l'aide de la table de Mac-Grady (Annexe).

#### III.4.4.5.2 Œufs d'helminthes

Le dénombrement des œufs d'helminthes dans le compost durant notre travail a été réalisé suivant la méthode modifiée de séparation (diphasique de sédimentation et flottation) suivie d'observation au microscope de l'Agence Américaine de la Protection de l'Environnement US-EPA (Schwartzbrod J. et al 1998) (Annexe 5).

### III.4.4.5.3 Test de Germination

Le test a été réalisé avec un extrait préparé à partir d'un extrait 1/10 de compost/eau distillée, 10 graines de tomates (Lycopersicon esculentum L.) et de gombo (*Abelmoschus esculentus*) placées sur 2 papiers Whatman contenus dans une boite de Petri. Les graines sont ensuite arrosées avec 9 ml de la solution extraite. L'eau distillée a été utilisée comme témoin. Toutes les expériences ont été effectuées en triple. Les boîtes de Pétri ont été scellées avec du Para film pour minimiser les pertes en eau tout en permettant la pénétration de l'air, puis ont été maintenues dans l'obscurité pendant 96 h soit 4 jours à 26°C. L'indice de germination (IG) a été calculé selon la formule de Zucconi et al. (1981):

$$IG = \frac{\text{nVSS} \times \text{RLS}}{\text{nVSC} \times \text{RLC}} \times 100$$

Avec:

• IG (%): indice de germination

• nVSS : nombre de graines viables dans l'échantillon

• nVSC : nombre de graines viables dans le témoin

• RLS (mm) : longueur des racines dans l'échantillon

• RLC (mm) : longueur des racines dans le témoin

## IV RESULTATS ET DISCUSSIONS

# IV.1. Evolution des différents paramètres dans les toilettes

L'objectif de cette première partie est de suivre l'évolution des différents paramètres physicochimique et microbiologiques dans la toilette impliquée dans le processus de compostage. Ce suivi a pour but d'étudier leurs comportements et leurs actions dans le processus de dégradation de la matière organique et d'observer le comportement de certains microorganismes pathogènes dans le compost (Annexes 6,7 et 8).

#### IV.1.1. Température

L'évolution de la température dans les composts des deux toilettes (TSUE et TAUE) est similaire et montre une augmentation rapide de la température dès les premiers jours de compostage suivi d'un maintien de ces températures jusqu'au  $40^{\rm ème}$  jour du compostage avant de baisser progressivement à la fin du compostage (Figure 9) . Le pic des températures est de 44 °C et de 39 °C respectivement dans la TSUE et dans la TAUE. La température dans le compost reste supérieure à la température ambiante tout au long du compostage. L'augmentation de la température serait expliquée par le développement et l'activité des microorganismes indigènes du compost qui dégraderaient la matière organique disponible. L'intensification de cette activité microbiologique permettrait le maintien des températures à leur maximum au cours du compostage. La diminution progressive de la température en fin de compostage serait due à l'épuisement de la matière organique disponible. Les températures maximales obtenues dans les deux toilettes sont faibles <50 ° C, c'est donc des températures mésophiles. Cette température basse pendant le compostage serait due à la toilette de compostage, au type de l'agent de charge utilisé (sciure) ou de la fréquence de mélange au cours du compostage. Cependant la température mésophile est légèrement plus élevée dans la TSUE que dans TAUE. Ceci serait dû à l'absence d'eau dans la TSUE qui favoriserait plus le chauffage. L'augmentation de la température dans les composts des toilettes est due aux réactions d'oxydation de la matrice de substrat organique (fèces, urine, papier hygiénique) en début de compostage par les micro-organismes. Les compostages dans les toilettes fonctionneraient avec une température mésophile et donc n'atteignent pas une température thermophile apte pour l'élimination des microorganismes indésirables. En effet les toilettes à compost n'atteignent pas généralement une température thermophile pendant un temps suffisant pour l'élimination des agents pathogènes (Hill et al., 2013). Selon des études précédentes (Mehl et al., 2011 ; Sossou et al, 2014), la majorité des compostages dans les toilettes pour les pays en développement n'atteint pas des températures suffisamment élevées pour la destruction complète des agents pathogènes, donc une dessiccation à pH élevé peut être le principal mécanisme de destruction de l'agent pathogène. La température mésophile est légèrement plus élevée dans la TSUE que dans la TAUE. En effet, l'absence d'utilisation d'eau, donc une teneur en eau plus faible dans le bioréacteur à compost a permis une augmentation plus élevée de la température dans la toilette TSUE (Jolanun et al. 2005).

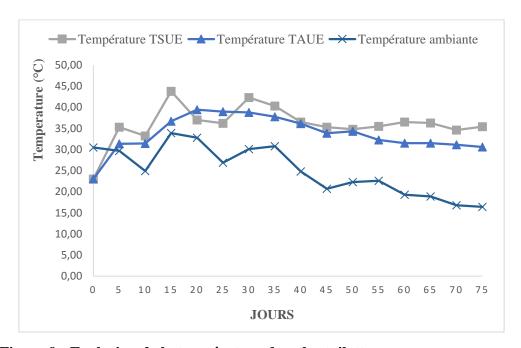


Figure 9 : Evolution de la température dans les toilettes

### *IV.1.2. pH*

L'évolution du pH au cours du processus de compostage dans les deux toilettes est pratiquement identique et montre une augmentation rapide du pH dès les premiers jours du compostage passant d'un pH acide à un pH basique à partir du  $10^{\text{ème}}$  jour (Figure 10). Durant tout le reste du processus, l'évolution du pH est maintenue constante avec une légère fluctuation entre 8,3 et 8,93 dans la TAUE et entre 8,29 et 8,64 dans la TSUE jusqu'à la fin du processus. Cette acidité observée au début pourrait être due à la présence de l'agent de charge (sciure de bois) en quantité, à la formation d'acides organiques et à l'immobilisation de l'ammonium dans la biomasse microbienne, et ceci aussi bien en mode de décomposition aérobie qu'anaérobie (Nakasaki et al., 1985). L'augmentation du pH conduisant à l'alcalinité observée est en effet due à l'activité intense des microorganismes et à la dégradation de la matière organique occasionnant la formation de l'ammonium (Cofie et al., 2009). En effet pour la majorité des toilettes à compost utilisant les bioréacteurs, une alcalinisation des substrats conduisant à des

pH basiques tout au long du processus de compostage est observée (Narihiro et al., 2004).

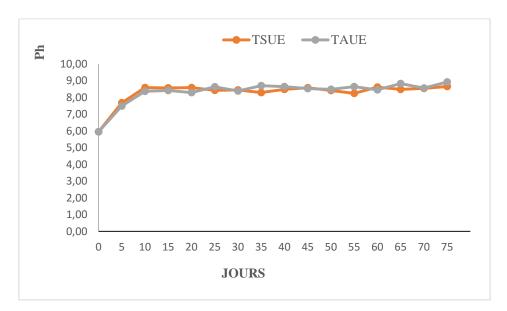


Figure 10: Evolution du pH dans les toilettes

### IV.1.3. Teneur en eau (W)

Une variation similaire de la teneur en eau est observée dans les deux toilettes si bien que la TAUE présente une (W) largement supérieure que celle de la TSUE durant tout le processus de compostage (Figure 11). Ces toilettes montrent une augmentation rapide de la (W) pendant les dix premiers jours de compostage. A partir du 10<sup>ème</sup> une fluctuation avec diminution de la (W) est observée dans la TSUE jusqu'à atteindre 45,79 % au 75<sup>ème</sup> jour alors que dans la TAUE une évolution presque constante de la (W) est observée à partir du 10<sup>ème</sup> jour jusqu'à 73, 08 % au 75<sup>ème</sup> jour. Le pic des teneurs en eau est de 66,84 % et de 84 % respectivement dans la TSUE et dans la TAUE. La teneur élevée d'eau observée dans la TAUE serait due à l'apport régulier d'eau au cours de l'utilisation de cette toilette qui augmente le taux d'humidité en plus de l'urine apportée et de l'humidité dégagée par l'activité des microorganismes qui dégradent les matières organiques en présence d'oxygène. Par contre, dans la TSUE l'humidité n'est apportée que par l'urine et la dégradation de la matière organique par les microorganismes. En effet plus les utilisateurs émettent des quantités d'urines importantes, plus l'humidité dans la toilette est élevée d'où les variations de la (W) observée dans cette toilette. Les teneurs en eau dans la TAUE étaient toutes élevées dépassant 60 % depuis le 5<sup>ème</sup> jour jusqu'à la fin du processus ne respectant donc pas la teneur idéale (50 à 55 %) pour une bonne activité métabolique et physiologique des microorganismes dans les bioréacteurs à compost (Jolanun et al., 2005). Par contre, les valeurs trouvées dans la TSUE semblent se rapprocher de cette condition à la fin du processus. Narihiro et al., (2004) ont mesuré des valeurs d'humidité semblable allant de 63 à 40 % lors de l'étude de la dynamique des populations microbiennes au cours d'un Fed-Batch compostage des ordures ménagères.

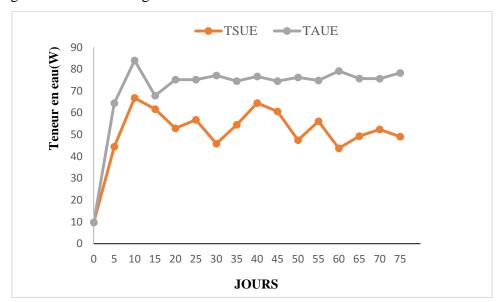


Figure 11: Evolution de la teneur en eau dans les toilettes

### IV.1.4. Bactéries hétérotrophes (BH)

La dynamique des bactéries hétérotrophes dans les deux toilettes est différente dès le début jusqu'au 55<sup>ème</sup> jour du compostage. Elle semble être similaire à partir du 55<sup>ème</sup> jour jusqu'à la fin du processus (Figure 12). Dans la TAUE on observe une évolution des bactéries hétérotrophes en trois phases ; une diminution rapide de 4 E+13 UFC/g à partir du premier jour jusqu'à 3,2 E+08 UFC/g au 20ème jour du compostage, suivi d'une fluctuation du 20ème jour jusqu'au 45<sup>ème</sup> jour et se termine par une légère augmentation de ces bactéries sur le reste du processus. Dans la TSUE on observe une évolution presque stable des bactéries hétérotrophes sur tout le processus de compostage avec une variation se situant autour de 1E+10 UFC/g et 1E+11 UFC/g. La diminution des BH observée dans la TAUE pendant les 20 premiers jours pourrait être due au taux d'humidité trop élevé, pouvant réduire l'oxygène disponible et limiter leur croissance. Le déclin des BH qui coïncide avec l'augmentation de la température les 20 premiers jours pourrait dû à un manque défaut d'oxygène dans le milieu. Cependant, la fluctuation et la légère croissance observée vers la fin du compostage peuvent être dues à l'ajout de l'agent de charge et au mixage qui apporte de l'oxygène dans le milieu. L'évolution presque constante des BH dans la TSUE est liée à son taux d'humidité qui n'empêche pas la croissance de celles-ci. En effet les BH sont présentes en quantité importante dès le début dans les substrats destinés à être compostés (Charnay, 2005), leur croissance peut être inhibée par un taux d'humidité trop élevé ou une carence en oxygène (Jolanun et al., 2005). Les BH se sont stabilisées à 4,3 E+11UFC/g dans la TAUE et à 1,9 E+11UFC/g dans la TSUE qui sont des valeurs acceptables pour le compostage utilisant des bioréacteurs. Certains auteurs comme (Jolanun et al., 2005) et (Narihiro et al., 2007), lors de leurs travaux ont trouvés des valeurs autour 1E+11UFC/g et 1E+12 UFC/g qui sont des valeurs proches de nos résultats.

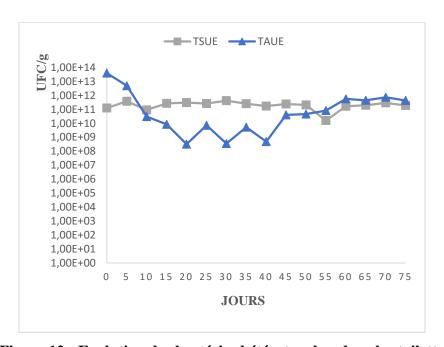


Figure 12 : Evolution des bactéries hétérotrophes dans les toilettes

#### IV.1.5. Actinomycètes et mycètes.

L'évolution des actinomycètes et mycètes dans les toilettes est pratiquement similaire avec une évolution en concentration élevée dans la TSUE que dans la TAUE pour les deux paramètres. On observe une augmentation des mycètes au début du processus de 6,4 E+07 UFC/g à 1,2 E+10 UFC/g à la fin du processus dans la TSUE tandis que dans la même toilette les actinomycètes ont évolué en trois phases, d'abord une légère fluctuation dès les premiers jours jusqu'au  $20^{\text{ème}}$  jour, suivie d'une augmentation rapide de 3,9 E+05 UFC/g à 1,39 E+09 UFC/g du  $20^{\text{ème}}$  jour au  $35^{\text{ème}}$  jour et enfin une légère augmentation jusqu'à 2,84 E+09 UFC/g au  $75^{\text{ème}}$  jour avec un pic de 4,2 E+10 UFC/g (Figue 13). Dans la TAUE les actinomycètes et les mycètes semblent avoir la même tendance sur tout le processus de compostage.

Dans les deux toilettes les mycètes sont en concentration importante au début et à la fin du compostage que les actinomycètes. Les actinomycètes et les mycètes sont des microorganismes qui se développent difficilement dans les conditions trop humides, ce qui explique leur faible croissance dans la TAUE et la forte croissance dans la TSUE où le milieu est favorable à leur

développement. Les mycètes encore appelés champignons sont les premiers colonisateurs des composts. Ils dégradent plus de carbone organique que les bactéries et les actinomycètes (Yulipriyanto, 2001). En plus, les mycètes sont majoritairement mésophile (Yulipriyanto, 2001), leur croissance dans les bioréacteurs fonctionnant dans des conditions mésophiles est largement meilleure que celle des actinomycètes dans les mêmes conditions. D'où leur forte présence dans le compost en même temps que les bactéries hétérotrophes. Les actinomycètes ne sont pas des microorganismes prédominant dans le compost, ils évoluent en fonction de la variation de la température. Cependant, ces microorganismes présentent un rôle important en contribuant largement à la dégradation des molécules complexes et en particulier les récalcitrants ligno-cellulosiques, par leur capacité de produire des enzymes (Nakasaki et al., 1985), ceci expliquerait la raison de leur faible présence dans le compost par rapport aux autres microorganismes ayant la même fonction qu'eux. Par ailleurs, du fait de leur faible compétitivité, les actinomycètes restent en biomasse inférieure par rapport aux bactéries et les mycètes. L'augmentation et la stabilité du dynamisme des actinomycètes dans la TSUE vers les derniers jours du processus seraient dues à une évolution vers la maturité du compost. En effet, la maturité d'un compost peut être également testée par l'activité microbiologique et par la présence en abondance d'un certain nombre de microorganismes comme les actinomycètes qui se développent plus dans la phase de maturité (Babaammi, 2014). Les concentrations trouvées dans la TSUE sont autour de 1E+09 UFC/g pour ce qui concerne les actinomycètes et de 1E+10 UFC/g pour les mycètes. Ces résultats sont proches de ceux trouvés par Attrassi et al.,(2005) lors de leurs travaux sur la valorisation des déchets ménagers.

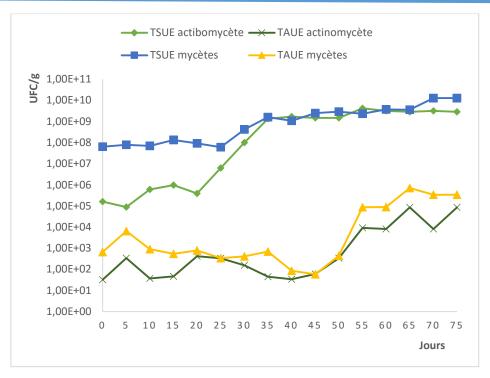


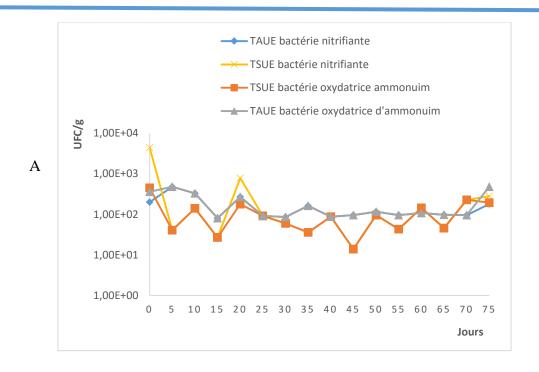
Figure 13 : Evolution des actinomycètes et des mycètes dans les toilettes

### IV.1.6. V.1.6 Microorganismes dégradateur de la forme azoté

Les bactéries nitrifiantes et les bactéries oxydatrices d'ammonium présentent une évolution presque similaire tout au long du processus de compostage aussi bien dans la TAUE que dans la TSUE. Dans la TSUE ces bactéries ont diminué dès les cinq premiers jours de 4,5 E+02 UFC/g pour atteindre 1,95 E+01 UFC/g, tandis que dans la TAUE sur cette même période elles ont augmenté pour atteindre un pic de 4,8 E+02 UFC/g (Figure 14). Ces bactéries ont maintenu une évolution presque stable tout au long du processus de décomposition.

Les bactéries denitrifiantes quant à elles, présentent une évolution peu différente dans les deux toilettes. Dans la TAUE, elles augmentent lentement durant les 15 premiers jours, puis rapidement à partir du 15ème jour pour atteindre son pic de 2500 MPN/g. Elles conservent ce pic jusqu'au 40ème jour puis chutent pour atteindre 25 MPN/g au 55ème jour, ensuite varient pour avoir une concentration de 250 MPN/g au 75ème jour. Dans la TSUE une variation de ces bactéries est observée dès les premiers jours du compostage jusqu'au 35ème. À partir du 35ème jour ces bactéries augmentent rapidement pour atteindre leur pic de 2500 MPN/g au 45ème et maintiennent ce pic jusqu'à la fin du processus de compostage. L'évolution presque stable des bactéries oxydatrices d'ammonium et des bactéries nitrifiantes observée tout au long du processus du compostage insinuerait une oxydation rapide de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> -N en NO<sub>3</sub>¬N. Ces bactéries sont dominées dans les composts par la *Nitrosomonas sp* pour ce qui concerne les

bactéries oxydatrices d'ammonium, et par la Nitrobacter sp pour les bactéries nitrifiantes (Tiquia et al., 2002). Les résultats de nos travaux montrent des concentrations maximales de 4,8. E+02 UFC/g dans la TAUE et de 4,4. E+02 UFC/g dans la TSUE pour ces deux types de bactéries. Les concentrations maximales dans ces deux toilettes sont faibles < 1E+03 UFC/g comparativement aux résultats trouvés par Tiquia et al., (2002) lors de leurs travaux étudiant le dynamisme des populations microbiennes par compostage des excréments de volailles qui ont trouvé des valeurs maximales de 1E+10 UFC/g. L'action de plusieurs facteurs comme la température, le pH et le substrat pourrait expliquer les concentrations faibles obtenues. En effet la croissance des bactéries nitrifiantes serait optimale à des pH compris entre 6 et 7 (Tiquia et al., 2002) ce qui n'est pas le cas de nos valeurs de pH. Pour ce qui concerne les bactéries denitrifiantes, elles sont en général des microorganismes anaérobies, elles convertissent les nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) en azote gazeux (N<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>). Elles atteignent des croissances optimales à des températures comprises entre 27 °C et 30 °C et un pH situé entre 7 et 8 (Tiquia et al., 2002). Leur faible croissance observée pendant les 35 premiers jours dans la TSUE (Figure 15), serait due à l'action de la température qui dépasse 30 °C pendant cette période et l'action du pH. De plus, ces microorganismes se développent préférentiellement dans des milieux où les teneurs en eau peuvent atteindre ou dépasser 65 %, d'où un taux faible d'oxygène. L'augmentation de ces bactéries dans la TAUE à partir du 15<sup>ème</sup> jour pourrait s'expliquer du fait de l'utilisation d'eau augmentant le taux d'humidité créant ainsi des conditions anaérobioses favorisant le développement de ces bactéries. Cependant dans la TSUE malgré la teneur en eau en dessous de 65 %, le pH supérieur à 8 et la température au-dessus de 30 °C à partir du 35 ème jour on observe un développement élevé de ces bactéries. Ceci pourrait être expliqué par la diminution de la température pendant cette période et au fait que toutes les bactéries denitrifiantes ne sont pas anaérobies. Certaines espèces de bactéries denitrifiantes sont facultatives et peuvent croitre dans des conditions aérobies (Yulipriyanto, 2001). Quelques-unes de ces bactéries sont les Bacillus, Flavobacterium, et Pseudomonas et elles se développent aussi bien dans les sols que dans les composts.



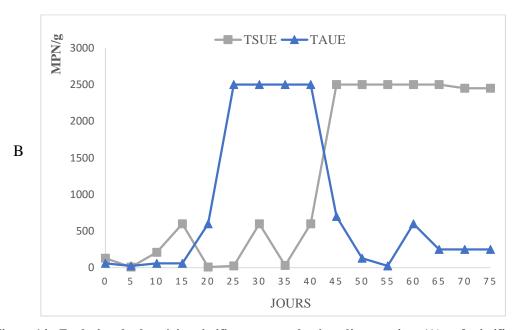


Figure 14 : Evolution des bactéries nitrifiantes et oxydatrices d'ammonium (A) et denitrifiantes (B)

### IV.1.7. Indicateurs de contamination fécale

L'évolution des germes indicateurs de contamination montre une augmentation dans la TAUE des CF jusqu'à atteindre un pic de 2,66 E+7 UFC/g et une chute de ces CF au 20<sup>ème</sup> jour avant de poursuivre une évolution stable sur le reste du processus (Figure 15). Dans la TSUE les CF ont varié les 25 premiers jours. Après le 25<sup>ème</sup> jour ces bactéries ont augmenté jusqu'à atteindre un pic de 6.1E+07 UFC/, ensuite ont diminué progressivement pour atteindre 2,3 E+04 UFC/g

au dernier jour du compostage. Pour ce qui concerne E. coli les figures présentent une variation de ces bactéries dans les deux toilettes durant tout le processus. Au début dans la TAUE les E. coli n'étaient pas présents. Ils apparaissent au 20ème jour et varient en augmentant pour atteindre un pic de 2,09 E+04 UFC/g au 35<sup>ème</sup> jour, puis disparaissent après le 70<sup>ème</sup> jour. Par contre dans la TSUE, ces bactéries étaient présentes en quantité importante au début. Ensuite elles ont augmenté pour atteindre un pic de 3,7 E+04 UFC/g au 25<sup>ème</sup>, puis disparaissent à partir du 65<sup>ème</sup> jour. Concernant les streptocoques fécaux (SF), une variation notoire du dynamisme de ces bactéries dans le compost est remarquée. Dans la TAUE, on note une augmentation des SF à partir du 1er jour pour atteindre son pic de 2,7 E+07 UFC/g au 5<sup>ème</sup> jour, ensuite une diminution jusqu'à 2,83 E05+ UFC/g au 75ème. Dans la TSUE, une variation des SF allant de 5,9 E+06 UFC/g à 2,92 E+04 UFC/g est observée sur toute la période du compostage. Dans toutes les toilettes une réduction de ces bactéries est observée à la fin du processus. Toutes ces bactéries ayant comme vecteur principal les fèces, leur présence dans le compost est liée à l'apport quotidien des fèces par les utilisateurs. Ainsi la variation observée durant tout ce processus pour tous ces microorganismes peut être expliquée par la fréquence d'apport des fèces par les utilisateurs. En effet, plus les apports en fèces contiennent en abondance ces bactéries et plus elles deviennent nombreuses dans le milieu. En revanche lorsque les apports diminuent et que le milieu devient défavorable à leur développement une baisse de ces bactéries est observée. Après 70 jours de compostage dans la TSUE et 65 jours dans la TAUE, seules les bactéries E. coli ont totalement disparu dans le compost. Cependant, une réduction des SF et CF est remarquée alors que les températures n'étaient pas assez élevées pour la destruction de ces bactéries. En plus de la température qui n'était pas favorable pour la destruction de ces microorganismes, la teneur en eau dans la TAUE était élevée et pourrait être défavorable à une élimination de ces germes. Toutefois, une réduction de ces microorganismes a été observée aussi bien dans la TAUE que dans la TSUE à la fin du processus. Ceci serait expliqué par le fait que la température et la teneur en eau ne sont pas les seuls paramètres responsables de la destruction des pathogènes dans les toilettes à composts. En général les températures dans les toilettes à compost utilisant les bioréacteurs ne sont pas assez élevées pour la destruction des pathogènes (Sossou et al., 2014). De plus la teneur en eau n'a qu'une action insignifiante dans la réduction des E. coli (Hill et al., 2012). Hill et al. (2012) ont montré dans leurs études que les six paramètres variables pouvant affecter la destruction des pathogènes dans les matières fécales sont la température, la teneur en eau, le pH, la compétition entre les microorganismes pathogènes et les non pathogènes, la durée et le NH<sub>3</sub>-N. En effet une élévation dans le compost de NH<sub>3</sub>-N et un pH élevé (pH alcalin) peuvent réduire le nombre de *E. coli* dans le milieu. D'autres études (Hill et al., 2012) abordant dans le même sens ont montré que l'ajustement du pH et l'augmentation de NH<sub>3</sub>-N peuvent être utilisés pour contrôler les germes indésireux dans les composts. La prise en compte de l'urine dans les toilettes à compostage serait un facteur nécessaire à la réduction de ces germes.

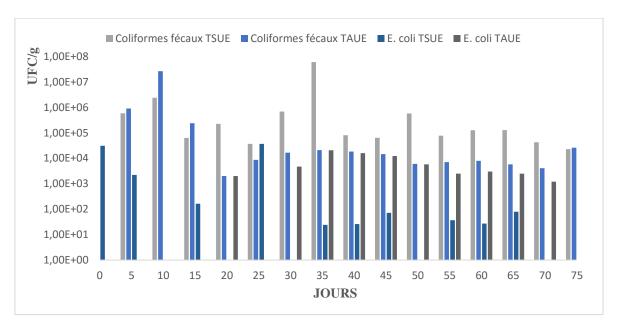


Figure 15 : Evolution des Coliformes fécaux et E. coli dans les toilettes

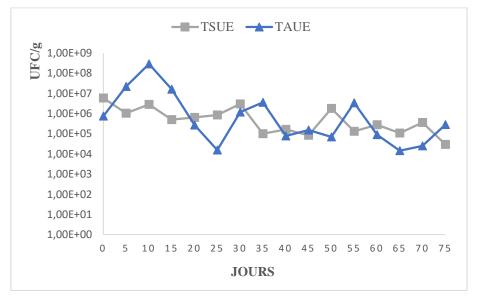


Figure 16 : Evolution des Streptocoques fécaux dans les toilettes

### IV.1.8. Microorganismes pathogènes (salmonelles et œufs d'helminthes)

La figure (17) ci-dessous présente le dynamisme des salmonelles dans les deux toilettes.

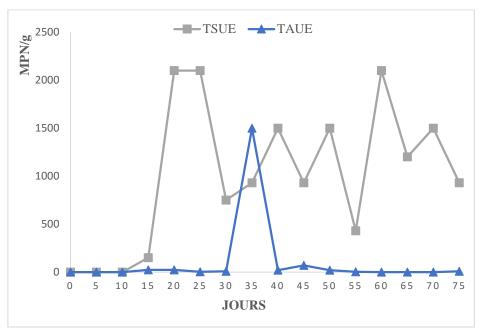


Figure 17: Evolution des salmonelles dans les toilettes

Au commencement du processus, aucune bactérie salmonelle n'a été trouvée dans les composts. Elles ont apparu dans la TAUE au 30ème jour et ont augmenté rapidement pour atteindre un pic de 1500 MPN/g au 35<sup>ème</sup> jour, puis ont diminué pour avoir une faible concentration de 9 MPN/g au 75<sup>ème</sup> jour. Dans la TSUE une présence de salmonelle est notée à partir du 10<sup>ème</sup> jour de compostage et a augmenté rapidement pour atteindre son pic de 2100 MPN/g au 20ème jour puis au 25<sup>ème</sup> jour. A partir de cet instant, une chute des salmonelles est ensuite remarquée dans le compost à 730 MPN/g au 30<sup>ème</sup> jour. Après le 30<sup>ème</sup> jour, une variation dans le dynamisme est observée jusqu'à la fin du processus au 75<sup>ème</sup> avec une concentration de 930 MPN/g. Les bactéries salmonelles tout comme les SF, E. coli et CF sont apportés majoritairement par les fèces dans le compost. Leur variation dans les toilettes dépend largement de la fréquence d'apport des fèces et de la probabilité de présence de ces bactéries dans les fèces apportées. Mais contrairement aux autres bactéries, les salmonelles sont moins résistantes et ont une durée de vie limitée si les conditions sont peu défavorables à leur développement. Cependant, elles peuvent rester viables et indétectables pendant longtemps dans des sols amendés avec les composts les contenant (Sossou, 2016). L'élimination de ces bactéries dans le compost peut être due à l'action conjuguée du pH et de la température. A pH alcalin et une température audessus de 30 °C, le développement des salmonelles est réduit (Sossou, 2016). Dans ces travaux Sossou (2016) a montré l'inactivation des bactéries salmonelles après 30 jours de compostage à pH alcalin et une température maximale de 35,7 ° C. Pour Hill et al., (2012) avec 235 mmol/l NH3-N et une température de 14 °C pendant 2 semaines de compostage environ 1E+06 MPN/g de salmonelle peuvent être éliminé. La différence observée entre ces deux toilettes serait due à l'état de santé des utilisateurs.

Au début du processus de compostage, les œufs d'helminthes étaient présents en faible quantité dans la TSUE et absente dans la TAUE (Figure 18). Ce n'est qu'à partir du 45ème jour dans la TSUE et au 60ème jour dans la TAUE qu'une présence remarquable d'œufs est observée dans les deux toilettes. A partir de ces différentes dates une augmentation des œufs est observée dans les deux toilettes jusqu'aux derniers jours de compostage où on compte 310 œufs/g dans la TAUE et 1090 œufs/g dans la TSUE. Les œufs sont majoritairement apportés par les fèces dans le milieu, leur présence dans les composts est liée à la présence de ces pathogènes dans les fèces de l'utilisateur. Vu que les milieux n'étaient pas favorables à leur destruction, ils sont restés présent dans le milieu.

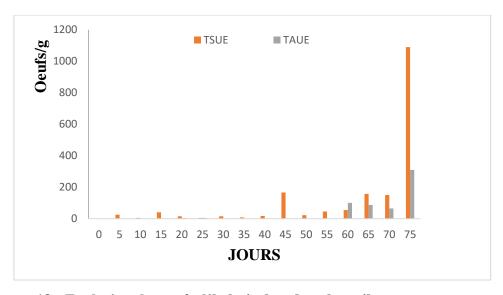


Figure 18: Evolution des œufs d'helminthes dans les toilettes

Après le processus de compostage dans les toilettes, les résultats ont montré que le compost obtenu ne présentait pas une qualité hygiénique suffisante pour être directement utilisée en agriculture. En plus la maturité et la stabilité n'était pas totale, d'où l'intérêt de poursuivre le processus de compostage dans la fosse.

## IV.2. Evolution des différents paramètres dans les fosses

Le but de cette deuxième partie est de suivre dans la fosse les mêmes paramètres suivis précédemment dans la toilette afin d'observer le comportement des microorganismes indigènes

après l'étape de la toilette et d'évaluer la qualité du compost en fin de processus.

### IV.2.1. Température

L'évolution de la température dans les fosses est similaire et montre une légère augmentation de la température dans les 5 premiers jours, suivi d'une variation de cette température pour atteindre un pic de 32,9 °C dans la FTSUE au 25ème jour et de 31,2 °C dans la FTAUE au 30ème jour. Avant de décroitre pour les deux fosses au 45ème jour (Figure 19). Durant toute la durée de compostage, la température dans la FTSUE est légèrement élevée à celle dans la FTAUE et elles sont toutes supérieures à la température ambiante à l'exception au 5ème où celle-ci a grimpé pour être au-dessus. La variation de la température dans les fosses est peu importante que celle dans les toilettes. Les faibles amplitudes observées seraient expliquées au fait du ralentissement de l'activité microbienne justifiée par l'absence d'apport de nouveau substrat. Ce ralentissement est lié à la stabilisation de la matière organique, qui peut être définie comme l'augmentation de la résistance à la biodégradation de la matière organique. En effet plus la matière organique est stable, plus l'activité microbienne est faible (Francou, 2003) et ceci pourrait entrainer la diminution progressive de la température.

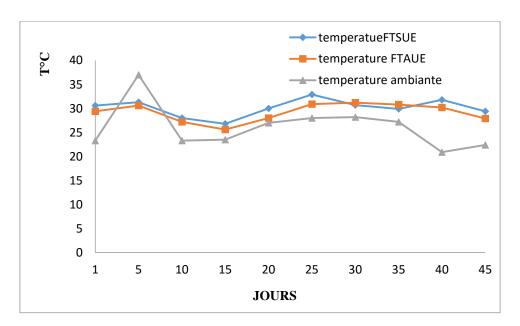


Figure 19 : Evolution de la température dans les fosses

## *IV.2.2. pH*

La tendance du pH dans les deux fosses est presque différente les 25 premiers jours et est similaire sur le reste du processus (Figure 20). Dans la FTSUE on observe une variation du pH entre trois formes. Il a évolué de la forme basique du 1<sup>er</sup> jour à la forme neutre au 25<sup>ème</sup> jour.

Après le 25ème jour le pH est devenu acide sur le reste du processus. Par contre dans la FTAUE le pH a varié entre deux formes il passé de 8,75 à 7,64 au dernier de stockage. A partir du 30ème jour le pH a maintenu une évolution stable sur le reste du temps. Le pH est un des paramètres indiquant l'état de maturité des composts (Francou, 2003). Les pH acides sont caractéristiques des composts immatures alors que les composts murs sont caractérisés par des pH compris entre 7 et 9 (Francou, 2003). Ainsi nos valeurs de pH trouvés dans la FTAUE indiqueraient que le compost aurait atteint sa maturité. Alors que dans la FTSUE le compost n'est pas encore mature et serait entrain de tendre vers sa maturité. Nos valeurs trouvées dans la FTAUE dans les derniers jours sont proches de celles de (Bernal *et al.*, 1998) qui indique que les composts murs des (boues+ déchets) ont des pH compris entre 7,1 et 7,5 et tandis que les pH des composts immatures se situent entre 5,6 et 7,6. De plus la baisse de la valeur du pH observée en début de compostage dans la FTSUE pourrait être liée à la formation d'acide organique. En effet une baisse des pH est souvent observée au début de compostage suite à la formation d'acides organiques, et ceci aussi bien en mode de décomposition aérobie qu'anaérobie (Nakasaki et al., 1985)



Figure 20: Evolution du pH dans les fosses

#### IV.2.3. Teneur en eau (W)

L'évolution de la teneur en eau est sensiblement stable dans les deux fosses. On note une diminution progressive de la teneur en eau de 78,28 % du 1er jour à 58,72 % au 45ème jour dans FTAUE. Par contre dans la FTSUE une diminution de la teneur en eau de 49 % à 29 % est observée dès les 10 premiers puis une augmentation progressive durant le reste du temps pour atteindre 50, 34 % au 45ème jour (Figure 21). La teneur en eau mesurée dans les deux fosses les

derniers jours de stockage est respectivement de 58,72 % et 50,34 % dans la FTAUE et dans la FTSUE. La (W) dans la FTAUE reste toujours supérieur à celle dans la FTSUE et peut être expliqué par le taux d'humidité élevé au départ dans le compost de la TAUE. Cependant la diminution progressive observée serait due au manque d'apport d'eau et de et de substrat dans les fosses de la (W). Toute fois la teneur en eau dans ces deux fosses en fin de processus est supérieur à celle recommandée par (Hiraoka et al., 2005) qui selon eux une teneur en eau de 30 % serait idéale en fin de compostage.

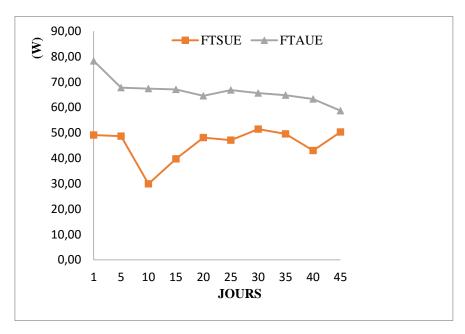


Figure 21: Evolution de la teneur en eau dans les fosses

#### IV.2.4. V.2.4 Bactéries hétérotrophes

La figure (25) ci-dessous présente l'évolution des bactéries hétérotrophes dans les composts des deux fosses (FTAUE et FTSUE). Le dynamisme des bactéries hétérotrophes dans les fosses est similaire et montre une diminution progressive des (BH) depuis le premier jour de la mise en fosse jusqu'au  $45^{\text{ème}}$  jour (Figure 22). L'évolution des BH dans les deux fosses est sensiblement stable et a varié de 4,3. E+11 UFC/g à 2,4 E+09UFC/g dans la FTSUE et de 1,9 E+12UFC/g à 4,2 E+09 UFC/g dans la FTAUE. La population bactérienne est plus abondante dans la FTAUE que dans la FTSUE pendant les 30 premiers jours et sensiblement égale sur les 15 derniers jours. La baisse observée des BH dans les composts serait due à l'épuisement de la matière organique d'où du substrat apporté. En effet, les BH étant présente en quantité dans les substrats destinés à composté (Charnay, 2005), lorsque le substrat devient rare, l'activité de ces microorganismes diminue et se stabilise. Parlant de la stabilisation de l'activité des

microorganismes Bernal et al., (1998) et Brewer et Sullivan, (2001), soutiennent que la stabilisation de l'activité microbiologique indiquerait que le compost est stable. La stabilisation de l'activité des microorganismes serait donc un des indicateurs de la stabilité des composts.

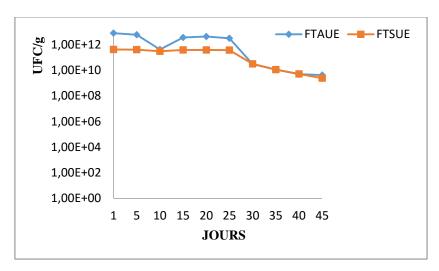


Figure 22 : Evolution des bactéries hétérotrophes dans les fosses

### IV.2.5. Actinomycètes et mycètes

L'évolution des actinomycètes et mycètes est sensiblement similaire dans les fosses (Figure 23). Les actinomycètes ont diminué légèrement dans la FTSUE de 2,84 E+09 UFC/g le premier jour à 4,6 E+06 UFC/g au 15ème jour. Dans la FTAUE ces microorganismes ont varié de 8,6 E+04 UFC/g à 9,5 E+04 UFC/g durant les quinze premiers jours. Après ces instants la population d'actinomycète a augmenté progressivement dans les fosses pour aboutir à des concentrations finales respectives de 8,9 E+06 UFC/g et de 4,6 E+05 UFC/g dans la FTSUE et dans la FTAUE. Toutefois, à partir du quinzième jour, une tendance à la stabilisation des actinomycètes est observée dans les fosses. Les actinomycètes tout comme certains mycètes sont responsables de la dégradation des molécules complexes (Charnay, 2005). Leur présence en abondance en phase de stabilisation et de maturité leur permet de s'attaquer aux molécules difficilement biodégradables pour les dégrader (Bernal et., 2008). Ceci pourrait expliquer l'augmentation progressive de ces microorganismes à la fin et indiquerait l'état de stabilisation et de maturité du compost.

Les mycètes comparativement aux actinomycètes ont diminués progressivement dans la FTSUE de 1,28 E+10UFC/g à 5,2 E+06 UFC/g au 20<sup>ème</sup> jour puis sont restés stables sur le reste du processus. Dans la FTAUE, ces microorganismes se sont moins développés que ceux de la FTSUE. Une évolution de 3,4 E+05 UFC/g à 2,8 E+05UFC/g au 45<sup>ème</sup> jour avec une tendance

à la stabilisation à partir du 30<sup>ème</sup> jour est observée. Le rôle exact des mycètes dans le compostage n'est pas bien défini (Tiquia et al., 2002). Cependant, certains mycètes comme les actinomycètes dégradent les molécules complexes comme la cellulose et la lignine et se développent pendant les phases de refroidissement et de maturation (Tiquia et al., 2002). Certains auteurs comme (Ryckeboer et al., 2003) ont indiqué que ces microorganismes se développent et croissent rapidement à basse température et dans les milieux où les pH sont majoritairement acides.

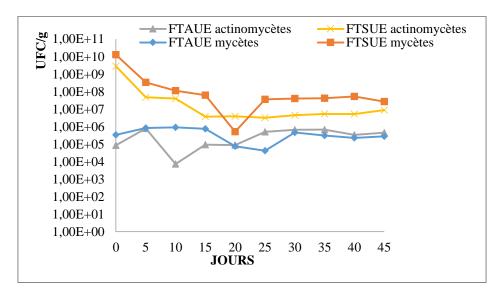


Figure 23 : Evolution des actinomycètes et mycètes dans les fosse

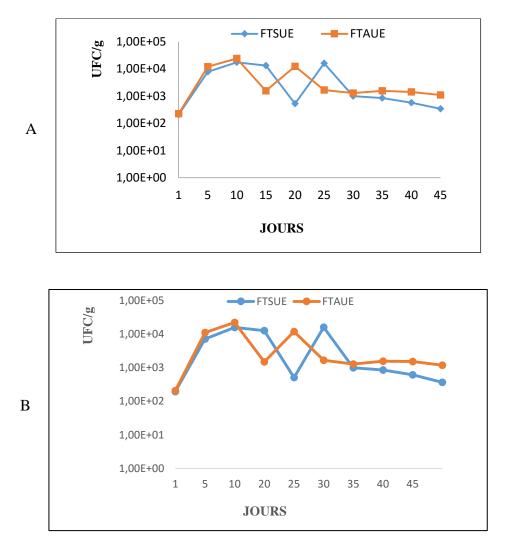


Figure 24 : Microorganismes de dégradation de la matière

#### IV.2.6. Microorganismes bio dégradateur de l'azote

Une tendance similaire des bactéries oxydatrices d'ammonium et des bactéries nitrifiantes est observée dans les deux fosses avec une variation de ces microorganismes les 30 premiers jours suivie d'une stabilisation les 15 derniers jours dans les fosses (Figure 25). Les pics atteints par ces bactéries sont respectivement de 2,4 E+04UFC/g et de 1.6.E+04UFC/g dans la FTAUE et FTSUE pour ce qui concerne les bactéries oxydatrices d'ammonium. Les bactéries nitrifiantes ont des pics respectifs de 2,22 E+04 UFC/g et 1,6 E+04 UFC/g dans la FTAUE et FTSUE.

Cependant elles sont abondantes que celles trouvées dans les toilettes dont les pics étaient respectivement de 4,8. E+02UFC/g et 4,4. E+02UFC/g dans la TAUE et dans la TSUE pour les bactéries oxydatrices d'ammonium. Pour les bactéries nitrifiantes les pics dans les toilettes étaient de 4,5 E+02 UFC/g dans la TAUE et 2,28 E+02UFC/g dans la TSUE. Les bactéries nitrifiantes et oxydatrices d'ammonium se développement favorablement à basse température et le plus souvent pendant la phase de maturité (Bernal et al., 1998), leur forte présence dans les fosses par rapport aux toilettes indiquerait que le compost serait en atteinte de sa maturité. L'intensité de l'activité de ces microorganismes dépendrait de la quantité disponible de NH<sub>4</sub>-N dans le milieu (Tiquia, 2002).



**Figure 25 : Evolution des bactéries oxydatrices d'ammonium (A) et nitrifiantes (B) dans les fosses** Les bactéries denitrifiantes présentent des évolutions différentes dans les deux fosses avec des concentrations également différentes (Figure 26). Elles ont diminué progressivement dans la FTSUE de 2450 à 840 MPN/g au 45ème jour. Dans la FTAUE, ces microorganismes ont plutôt augmenté légèrement les premiers jours pour atteindre le pic de 600 MPN/g au 15ème. À partir

du 25<sup>ème</sup> jour une tendance à la stabilisation de ces bactéries est observée. Ces bactéries croissent favorablement lorsque des conditions anaérobies se développement à l'intérieur du substrat. Cependant, certaines espèces ont la possibilité de se développer dans des conditions aérobies (Yulipriyanto, 2001). Ainsi lorsque ces bactéries colonisent un compost, ceci insinuerait que les conditions aérobies de ce compost sont réduites. Une activité importante des denitrifiantes occasionne une émission de N<sub>2</sub>O-N dix fois largement inférieur au NH<sub>3</sub>-N (Yulipriyanto, 2001). La stabilité observée les derniers jours pourrait s'expliquer par une baisse de l'activité de ces microorganismes.

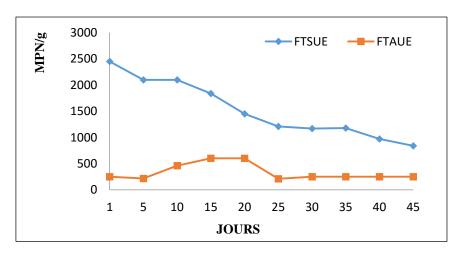


Figure 26 : Evolution des bactéries denitrifiantes dans les fosses

#### IV.2.7. Microorganismes indicateurs de contamination fécale (CF, E. coli et SF)

Au début du processus de compostage, *E. coli* était présent dans les deux toilettes jusqu'au 65<sup>ème</sup> jour dans la TSUE et au 70<sup>ème</sup> dans la TAUE. Après l'étape de la toilette aucune bactérie *E. coli* n'a été trouvée dans les fosses durant ce processus de compostage. L'évolution des CF et SF est similaire dans les fosses (Figure 27). Toutes les concentrations élevées de ces bactéries observées au début ont diminué progressivement jusqu'au 45<sup>ème</sup> jour. Durant tous les 45 jours du processus de compostage les CF ont diminué de 2,3 E+04 UFC/g à 6,4 E+01 UFC/g dans la FTSUE et de 2,6 E+04 UFC/g à 5,2 E+01 UFC/g dans la FTAUE. Par contre les SF ont décru de 2,92 E+04 UFC/g à 3,3 E+01 UFC/g dans la FTSUE et de 2,83 E+05 UFC/g à 9,9 E+02 UFC/g dans la FTAUE. À l'exception de *E. coli* qui a totalement disparu dans les composts, les autres bactéries indicatrices de contamination fécales ont diminué progressivement et sont restées présentes dans le compost des deux fosses à la fin du processus. La température considérée comme étant un facteur déterminant dans la réduction des pathogènes n'était pas assez élevée. Cependant, ces bactéries ont diminué progressivement dans les composts, ceci

pourrait suggérer que certains facteurs en plus de la température participent à la réduction des pathogènes, notamment la compétition entre les microorganismes pathogènes et les non pathogènes, les pH alcalins, la durée de compostage et également les faibles teneurs en eau. Ces résultats viennent en appui à certaines conclusions d'autres études (Sossou et al., 2014; Mehl et al., 2011), selon lesquelles les températures des latrines à compost ne sont pas assez élevées pour détruire tous les pathogènes. En plus de la température d'autres facteurs participeraient dans la réduction des pathogènes dans les composts. Hill et al.(2012) ont montré dans leurs études que la formation de l'urée à partir de l'ammoniac serait un facteur déterminant dans la réduction des agents pathogènes. Pour Shuval et al., (1986), une température maintenue constante entre 20 et 30 ° C serait nécessaire en un mois pour éliminer de moitié les coliformes dans un milieu humide.

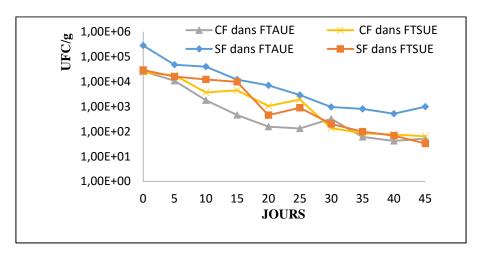


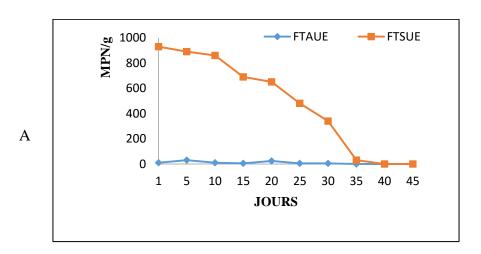
Figure 27: Evolution des CF et SF dans les fosses

#### IV.2.8. Microorganismes pathogènes

L'évolution des bactéries Salmonelles montre une diminution progressive de ces bactéries dans la FTSUE depuis le 1<sup>er</sup> jour au 35<sup>ème</sup> jour. Après le 35<sup>ème</sup> jour ces bactéries ont totalement disparu du compost. Dans la FTAUE ces bactéries en faible quantité au départ ont peu évolué et ont disparu après le 30<sup>ème</sup> jour (Figure 28). La croissance des salmonelles peut être influencée par divers facteurs : le pH, l'humidité, la disponibilité, des nutriments et la compétition avec la flore microbienne indigène (Francou, 2003). La réduction observée dans les fosses peut être expliquée par l'action de ces différents facteurs. Les salmonelles vivent moins longtemps à des températures supérieures à 30 °C (Tilley et al., 2008). En moins de 30 jours, Tilley et al. (2008) ont observé l'élimination des salmonelles dans les composts de déchets ménagers à des températures comprises entre 20 et 30 °C et un pH supérieur à 7. Par contre. Sossou (2016)

dans ses travaux avec une température maximale de 35,7 et un pH autour de 8 a obtenu l'inactivation des salmonelles en un mois de compostage.

Les œufs d'helminthes étaient nombreux au début du processus et ont diminué progressivement dans les deux fosses jusqu'au dernier jour de compostage. Ils étaient en quantité plus importante dans la FTSUE que dans la FTAUE. Comme évoqué précédemment les températures mésophiles ne sont pas assez élevées pour permettre une destruction des pathogènes comme les œufs d'helminthes, toutefois une diminution des œufs d'helminthes durant le processus a été observée. Cette diminution n'est cependant pas satisfaisante, car jusqu'au 45<sup>ème</sup> jour 130 œufs/g et 100 œufs/g ont été retrouvés respectivement dans la FTAUE et dans la FTSUE. Ceci pourrait s'expliquer par les températures basses et les teneurs d'eau trouvées en fin de processus ne favorisant pas la destruction complète de ces pathogènes. En effet des températures au-dessus de 50° C et des teneurs en eau inferieures 25% seraient importants dans la réduction des pathogène (Hill et al., 2012). Pour Hill et al. (2012) les teneurs faibles en eau seraient un facteur déterminant dans l'élimination des œufs, dans leur étude ils ont observé l'inactivation de 150 œufs d'Ascaris en moins de deux mois avec une température mésophile, un pH (8-10) et une teneur en eau <20 %. Dans des conditions similaires. Johnson et al. (1998) ont obtenu une inactivation à 95 % des œufs d'Ascaris pendant 5 semaines à une température <35 °C et un pH (9-10). Abordant dans le même sens, Sossou (2016) a montré l'élimination des Ascaris dans le compost avec une température mésophile, un pH alcalin et une teneur maximale en eau autour de 17 % à en un mois environ de compostage.



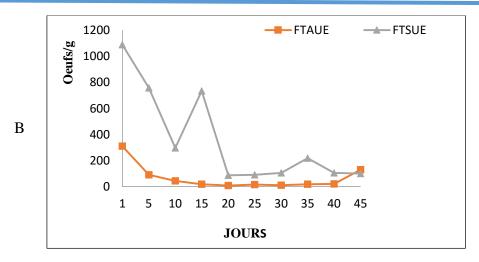


Figure 28 : Evolution des salmonelles (A) et des œufs d'helminthes (B)

# IV.3. Evaluation de la maturité et de la stabilité des composts dans les fosses

#### IV.3.1. Stabilité des composts

Plusieurs définitions pour la stabilité du compost ont été utilisées ; Bernal et al. (1998) ont lié la stabilité à l'activité microbienne et donc le potentiel de génération d'odeur désagréable. L'observation de certains paramètres physico-chimiques et microbiologiques peuvent permettre d'apprécier la stabilité d'un compost (Brewer et Sullivan, 2001; Albrecht, 2007; Sánchez et al., 2015). En général lorsque certains paramètres physicochimiques et microbiologiques tendent vers des valeurs stables, le compost tend également à se stabiliser. Le pH s'est stabilisé à 7,64 dans la FTAUE et à 6,97 dans la FTSUE le 30<sup>ème</sup> jour de compostage. Les valeurs de la teneur en eau ne se sont pas stabilisées sur tout le processus de compostage. Pour ce qui concerne les paramètres microbiologiques, une stabilisation des BH a été repérée le 30<sup>ème</sup> jour à 3,10 E+10UFC/g dans la FTAUE et à 3,7 E+11UFC/g le 25<sup>ème</sup> jour dans la FTSUE. Les actinomycètes se sont stabilisés respectivement à 5,1 E+05UFC/g et à 4,6 E+06 UFC/g le 25<sup>ème</sup> jour dans la FTAUE et dans la FTSUE. Concernant les mycètes une stabilisation est remarquée à 4,69E+05 UFC/g au 30<sup>ème</sup> jour dans la FTAUE et à 3,6 E+07 le 25<sup>ème</sup> jour dans la FTSUE. Les bactéries oxydatrices d'ammonium et les bactéries nitrifiantes se sont stabilisées respectivement à1.00E+02 et à 1,25 E+02 UFC/g dans la FTSUE au 30ème jour. Dans la FTAUE, les bactéries oxydatrices d'ammonium étaient stables à 1,2 E+03 UFC/g au 25<sup>ème</sup> jour, alors que les bactéries nitrifiantes se sont stabilisées à 1,6 E+03 UFC/g au 30ème jour. Les bactéries denitrifiantes quant à elles se sont stabilisées à 210 MNP au 25<sup>ème</sup> jour et à 1840 MNP au 15<sup>ème</sup> jour (Tableau annexe 9).

#### IV.3.2. IV.3.2 Maturité des composts

Dans le but d'évaluer la maturité des composts dans les fosses, nous avons réalisé un test de germination (Figure 29). Le gombo (*Abelmoschus esculentus*) et la tomate ont été utilisés pour le test. Les résultats indiquent un indice de germination (IG) > 80 % pour les deux composts sur les 45 jours à l'exception de quelques jours où les IG sont en dessous de 80 %. Les tests montrent que les deux composts sont sans effet sur la tomate et sur le gombo. Selon Zucconi et al. (1985), un IG inférieur à 50 % indiquerait un compost de haute phytotoxicité, un IG compris entre 50 % et 80 % indiquerait un compost de phytotoxicité modérée, un IG supérieur à 80 %, indiquerait un compost dépourvu de phytotoxicité ; et lorsque l'IG dépasse 100 %, le compost est considéré comme phytostimulant. En prenant en compte les études de Zucconi et al. (1985), les composts produits dans la FTSUE et dans la FTAUE seraient donc dépourvus de phytotoxicité. En se basant sur les critères de maturités selon ADAS Consulting Limited (2005) qui soutient qu'un compost ayant un IG> 80 % serait mature, la plupart des composts seraient tous matures à partir du 30° jour dans les fosses. En comparant les résultats des deux graines on remarque que les deux graines présentent des résultats satisfaisants.

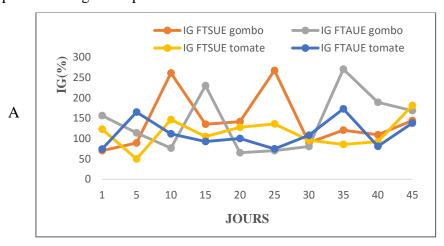




Figure 29 : Evolution des IG (A) et résultats du test de Germination (B)

# IV.4. Evaluation de la qualité hygiénique

Le tableau (V) ci-dessous donne les renseignements sur les CF, les *E. coli*, les SF, les bactéries salmonelles ainsi que le nombre d'œufs d'helminthes présents dans le compost initial et final.

Les résultats présentent un abattement assez important au cours du processus dans deux fosses. Les salmonelles et les E. coli ont été totalement éliminés dans les composts. Alors que les CF, les SF et les œufs d'helminthes n'ont pas été éliminés totalement. Les coliformes fécaux ont diminué de 2,6E+04 UFC/g à 5,02 E+01 UFC/g et de 2,3 E+04 UFC/g à 6,4 E+01 UFC/g respectivement dans la FTAUE et dans la FTSUE. Les SF eux par contre ont baissés de 2,83 E+05 UFC/g à 2,9 E+02UFC/g dans la FTAUE et de 2,92 E+04 UFC/g à 3,3 E+01UFC/g dans la FTSUE. Les œufs d'helminthes ont beaucoup diminué dans la FTSUE et faiblement dans la FTAUE. Une présence de 130 œufs/g dans la FTAUE et de 100 œufs/g dans la FTSUE a été observée dans les composts à la fin des processus. Toutefois, la présence d'œufs dans les deux composts ne permet pas de parler de compost hygiénique en tenant compte des limites de compost hygiénique rapportés par ADAS Consulting Limited (2005), qui préconise une absence totale d'œufs d'helminthes dans un gramme de compost. Cette présence d'œufs pourrait être liée aux faibles températures mésophiles qui ne permettent pas d'éliminer complètement les pathogènes et aux teneurs en eau élevées qui sont supérieures à 25 %. L'OMS (2006) préconise une teneur en eau inférieure à 25 % pour la destruction des pathogènes par dessiccation, ce qui n'était pas le cas des valeurs de nos teneurs en eau qui étaient toutes supérieures à 25 %. De plus, selon les études de (Mehl et al., 2011), la majorité des toilettes à compost dans les pays en développement n'atteignent pas des températures assez élevées pour la destruction complète des pathogènes. Pour (Charnay, 2005) une température, au-dessus de 55 °C pendant cinq (5) jours consécutifs serait nécessaire pour l'élimination des parasites. Néanmoins, dans la FTSUE où les températures étaient plus élevées et les teneurs en eau moins faibles ont permis un abattement en œufs d'helminthes plus efficace (90,82 %) que dans la FTAUE (58,06 %).

Tableau V : Evaluation de la qualité hygiénique des composts

	FTAUE			FTSUE			ADAS Consulting
Paramètres	Initial	Final	Abattement (%)	Initial	Final	Abattement (%)	Limited (2005)
CF (UFC/g)	2,6E+04	5,02E+01	99,80	2,3E+04	6,4E+01	99,72	< 1,0E+03
E-coli (UFC/g)	< 1	< 1	Total	< 1	< 1	Total	
SF (UFC/g)	2,83E+05	9,9E+02	99,65	2,92E+04	3,3E+01	98,87	
Salmonelles (MNP/g)	930	< 1	Total	30	< 1	Total	
Œufs d'helminthes œuf/g	310	130	58,06	1090	100	90,82	absence

## V . CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cette étude avait pour but de contribuer à l'amélioration des conditions de vie de la population à travers le développement une toilette à compost. Pour cela, le suivi du dynamisme des paramètres microbiologique a été effectué au cours de la Fed Bach compostage au niveau de la toilette et au cours du batch compostage dans la fosse. Les résultats du suivi ont montré que l'évolution de ces paramètres dans la toilette et dans la fosse a respecté celle du processus d'un bon compostage. L'évolution des paramètres tels que les bactéries hétérotrophes (BH), les actinomycètes, les mycètes et les microorganismes biodégradant l'azote était présent à des concentrations acceptables pour le déroulement d'un bon compostage.

L'étude de la qualité hygiénique a montré une élimination complète pour ce qui est des salmonelles et *E. coli*, par contre les streptocoques, les coliformes fécaux et les œufs d'helminthes n'ont pas été complètement éliminés. Les concentrations trouvées en fin de processus pour CF et SF étaient< 10³UFC/g et respectaient les exigences fixées par ADAS Consulting Limited (2005) en termes d'élimination des microorganismes de contamination fécale. Cependant, les résultats ont montré la présence des œufs d'helminthes dans les composts mûrs des deux fosses (130 œufs/g dans la FTAUE et 100 œufs/g dans la FTSUE), faisant conclure que les composts produits sont de qualité hygiénique insuffisante.

Pour ce qui concerne la stabilité, les paramètres comme les bactéries hétérotrophes, les actinomycètes et les mycètes se sont tous stabilisé dans les fosses. Par ailleurs, l'étude de la maturité a montré que les composts produits dans les deux fosses sont totalement matures à partir du 30<sup>ème</sup> jour. En comparant les composts produits dans les deux toilettes et fosses, l'on peut conclure que du point de vue stabilité et maturité, les résultats des deux toilettes sont acceptables. Cependant, le compost produit dans la TSUE aurait une qualité hygiénique meilleure à celui produit dans la TAUE. Toute fois pour une valorisation du compost en agriculture, la qualité hygiénique doit être améliorée. Pour cela, il faut :

- ✓ Refaire l'étude dans des familles afin de confirmer les résultats obtenus.
- ✓ Remplacer les fosses par du matériel plus chauffant comme des bacs métalliques afin d'élever la température pour inactiver les pathogènes.
- ✓ Ajouter du nouveau substrat dans la fosse pour réactiver l'activité des bactéries hétérotrophes ou faire un co-compostage du compost obtenu avec de la nouvelle matière organique.

# REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- ADAS Consulting Limited, 2005. Assessment of options and requirements for stability and maturity testing of composts, Enviros. Ed. The Waste and Resources Action Program, the Old Academy, 21 Horsefair, Banbury, Oxon OX16 0AH.
- Albrecht, R., 2007. Co-compostage de boues de station d'épuration et de déchets verts : Nouvelle méthodologie du suivi des transformations de la matière organique. (Thèse Unique). Université de droit, d'économie et des sciences, Aix-Marseille III.
- Attrassi, B., Mrabet, M., Douira, A., Ounine, K., & El Haloui, N. (2005). Etude de la valorisation agronomique des composts des déchets ménagers. Settat, 1 6.
- Babaammi, A., 2014. Caractérisation de la biomasse microbienne développée dans un compost issu des déchets du palmier dattier. Université Kasdi Merbah, Ouargla, Algerie.
- Bai, F. and Wang, X.C. (2010) Nitrogen-retaining property of compost in an aerobic thermophilic composting reactor for the sanitary disposal of human feces. Frontiers of Environmental Science and Engineering in China, 4, 228–234.

#### http://dx.doi.org/10.1007/s11783-010-0022-7

- Bassan, M., Tchonda, T., Mbéguéré, M., & Zabsonré, F. (2012). Processus d'élaboration d'un cadre institutionnel régulant l'activité de vidange mécanique de la ville de Ouagadougou, Burkina Faso. *16th AfWA International Congress and Exhibition Application\_Marrakech 2012*, 09.
- Bernal, M., Paredes, C., Sanchez, M.M., Cegarra, J., 1998. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. Bioresour. Technol. 91–99.
- Brewer, L.J., Sullivan, D.M., 2001. Assessing Maturity of Yard Debris Composted via Turned Windrow and Forced Aeration Methods. Soil Sci. Or. State Univ. Or. USA.
- Charnay, F., 2005. Compostage des déchets urbains dans les Pays en Développement : élaboration d'une démarche méthodologique pour une production pérenne de compost. (Thèse). Université de Limoges Faculté des Sciences et Techniques; Chimie et Microbiologie de l'Eau, Limoges.
- Cofie, O., Kone, D., Rothenberger, S., Moser, D., Zubruegg, C., 2009. Co-composting of faecal sludge and organic solid waste for agriculture: Process dynamics. Water Res. 4665–4675.
- Francou, C., 2003. Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets urbains : Influence de la nature des déchets et du procédé (Thèse). Institut National Agronomique Paris-Grignon, Paris.

- Hill, G.B., Baldwin, S.A., Vinnerås, B., 2012. Composting toilets a misnomer: Excessive ammonia from urine inhibits microbial activity yet is insufficient in sanitizing the end-product 29–35.
- Hiraoka, H., R.V, M., R.N, R., 2005. Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole.
- Jean, G., Bayard, R., Lacour, J., Naquin, P., 2017. Assainissement par toilettes sèches à litière biomaîtrisée : premiers résultats d'une expérimentation menée en milieu rural (Grande
- Johnson, P. W., Dixon, R. and Ross, A. D. (1998) An in-vitro test for assessing the viability of *Ascaris suum* eggs exposed to various sewage treatment processes. *International Journal for Parasitology*, 28, 627–633Plaine, commune de Gros-Morne, Haïti). Déchets Sci. Tech. Https://doi.org/10.4267/dechets-sciences-techniques.3618
- Lashermes, G., 2010. Évolution des polluants organiques au cours du compostage de déchets organiques : approche expérimentale et modélisation. Sciences de l'environnement. Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement, Paris.
- Leney, A., 2017. Les Toilettes sèches. Iles du Pacifique. 45p
- Maïmouna BOLOGO TRORE, Mariam SOU DAKOURÉ and Amadou Hama MAÏGA (2017). Ameli-EAUR project: which lessons for the promotion of agricultural value chains? In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 60, No. 1, p. 012032). IOP Publishing. http://iopscience.iop.org/issue/1755-1315/60/2
- Mehl, J., Kaiser, J., Hurtado, D., Gibson, D., Izurieta, R. and Mihelcic, J. (2011) Pathogen destruction and solid decomposition in composting latrines: study of fundamental mechanisms and user operations in rural Panama. Journal of Water and Health, 9, 187-199
- Ministère de l'Agriculture et de l'hydraulique / Direction générale de l'assainissement des eaux usées et excréta. (2011, Octobre). ENA-2010 MONOGRAPHIE NATIONALE. Ministère de l'Agriculture et de l'hydraulique
- Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique, et des Ressources Halieutiques/Direction Générale des Ressources en Eau, & Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique. Programme National d'Approvisionnement en Eau Potable et d'Assainissement à l'horizon 2015 (2006)
- Ministère de l'Eau et de l'Assainissement (Ed.), 2016. Programme National d'Assainissement des Eaux Usées et Excrétas.
- Morella, E., Foster, V., Banerjee, G. S., 2008. L'état de l'assainissement en Afrique Subsaharienne 12p.

- Morgan, P., 2007. Latrines à compost. Zimbabwe.
- Nakasaki, K., Sasaki, M., Shoda, M., Kubota, H., 1985. Effect of Seeding during Thermophilic Composting of Sewage Sludge 49, 724–726.
- Narihiro, T., Abe, T., Yamanaka, Y., Hiraishi, A., 2004. Microbial population dynamics during fed-batch operations of commercially available garbage composters 65, 8.
- Ngueffo, N., Machin, H., 2007. Assainissement et hygiène dans les pays en voie de développement. Londre, Royaume Unis.
- Niwagaba, C., B., Mbaye, M., Strande, L., 2015. Quantification, caractérisation et objectifs de traitement des boues de vidange. 30 p
- OMS et UNICEF. (2015). Progrès en matière d'assainissement et d'eau potable : mise à jour et évaluation des OMD. OMS/UNICEF
- OMS, & UNICEF. (2017). Progress on drinking water and sanitation: 2014 update and evaluation of ODD. OMS/UNICEF.
- Ryckeboer, J., Coosemans, J., Deprins, K., Swings, J., 2003. Microbiological aspects of biowaste during composting in a monitored compost bin. J. Appl. Microbiol. 2003 94,127–,137,127–137.
- Sánchez, A., Gabarrell, X., Artola, A., Barrena, R., Colón, J., Font, X., Komilis, D., 2015.

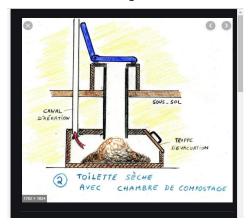
  Composting of Wastes. ResearchGate 77 101. https://doi.org/10.1201/b18680-6
- Schwartzbrod J. et al, 1998. Quantification and Viability determination for Helminth Eggs in Compost (Modified EPA Method). University Henri Poincaré; Faculty of Pharmacy, France.
- Sossou, S. K., 2016. The fate of intestinal parasites and pathogenic
- bacteria in the composting toilet, chapiter 2
- Sossou S. K., Sou/Dakoure M., Hijikata N., Quenum A., Maiga A. H. and Funamizu N. (2014). Removal and deactivation of intestinal parasites in aerobic mesophilic composting reactor for urine diverting composting toilets. *Compost Science and Utilization*, 22 (4): 242–252. http://dx.doi.org/10.1080/1065657X.2014.938873
- Sou, M., Maïga, Y., Maïga, A. H., Bologo, M. T., & Sossou, S. (2018). Experiment of a Resource-Oriented Agro-sanitation System in Sahelian Rural Community: Case of Burkina Faso. In *Resource-Oriented Agro-sanitation Systems* (pp. 271–289). https://doi.org/10.1007/978-4-431-56835-3\_17
- Strom, P.F., 1985. Effect of Temperature on Bacterial Species Diversity in Thermophilic Solid-Waste Compostingt 50, 7.

- Takashi, N., Akira, H., 2005. Microbiology of Fed-Batch composting 20, 13.
- Tilley, E., Luthi, C., Morel, A., Zurbrügg, C., Schertenleib, R., 2008. Compendium of Sanitation Systems and Technologies.
- Trautmann, N.M., Krasny, M.E., 1997. Composting in the Classroom. WWW site at:
- http://www.cfe.cornell.edu/compost/schools.html
- Yasuyuki, F., Akira, H., 2009. Combined use of Cyanoditolyl Tetrazolium Staining and Flow Cytometry for Detection of Metabolically Active Bacteria in Fed-Batch Composting Process 24, 7.
- Yulipriyanto, H., 2001. Emission d'effluents gazeux lors du compostage de substrats organiques en relation avec l'activité microbiologique (nitrification/dénitrification) (Thèse). Université Rennes 1, France.
- Znaidi, I.E.A., 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. Mediterranien Agronomic Institute of Bari, Tunisia.
- Zucconi, F., Monaco, A., Forte, M., Bertoldi, M., 1985. Phytotoxins during the stabilization of organic matter. Elsevier Appl. Sci. Publ, Composting of agricultural and other wastes 73–85.

# **ANNEXES**

Annexe 1 : schéma et photos de toilette à composts	. 70
Annexe 2 : protocole d'analyse des bactéries oxydatrices d'ammonium et nitrifiant	.71
Annexe 3 : Tableau récapitulatif des réactifs pour l'analyse des bactéries denitrifiantes	. 73
Annexe 4 : Mode opératoire d'incubation des salmonelles	. 74
Annexe 5 : protocole d'analyse des œufs d'helminthes	.76
Annexe 6 : photos de compost et mesure de température	. 78
Annexe 7 : photos des microorganismes	. 79
Annexe 8 : Résultats microbiologie de la toilette TAUE	80
Annexe 9 : Tableau d'indice de germination et évaluation de la stabilité	. 82

## Annexe 1 : schéma et photos de toilette à composts









#### Annexe 2 : protocole d'analyse des bactéries oxydatrices d'ammonium et nitrifiant

L'analyse des bactéries oxydatrices d'ammonium et de nitrites s'est faite en préparant une solution mère par dissolution de 10 g de compost dans 90 ml d'eau peptone tamponnée et bien agitée afin d'homogénéiser la solution. 1 ml de l'échantillon mère a été prélevé, dilué dans 9 ml de solution de Ringer pour obtenir une dilution de  $10^{-1}$  et bien agité au vortex. De cette nouvelle solution des dilutions en cascades ou en série ont été effectuées à l'aide de la solution de Ringer et 1 ml de chaque dilution a été ensemencé en profondeur dans des boites à pétri contenant des milieux de culture sélectifs, toutes ces boites sont par la suite incubées à l'étuve suivant des températures différentes. Les milieux de culture sélectifs ont été obtenus par mélange de différents réactifs résumés dans les tableaux ci-dessous (tableau I pour les bactéries oxydatrices d'ammonium et tableau ci-dessous pour les bactéries nitrifiantes)

#### 1.1 Différents réactifs pour l'analyse des bactéries oxydatrices

réactifs	quantités	méthode	températures	Durée	références
				d'incubation	
C <sub>a</sub> CO <sub>3</sub>	5 g				
(NH <sub>4</sub> )	1 g				
2 <b>SO</b> 4					
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	1 g	Ensemencement			
NaCl	1 g	en milieu de	25 °-28 °C	7 jours	
M <sub>g</sub> SO <sub>4</sub> ,	0,5 g	culture solide			(Allison,
7H <sub>2</sub> O					1965);
FeSO <sub>4</sub>	0,4				(Tiedje,
Eau	1 L				1994)
distillée					
Agar-agar	15 g				

#### 1.2 Différents réactifs pour l'analyse des bactéries nitrifiantes

réactifs	quantités	Méthode	température	Durée	références
				d'incubation	
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	132 g				
M <sub>g</sub> SO <sub>4</sub> , 7H <sub>2</sub> O	0,2 g				
Fer chélaté	0,13 g				
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0,11 g				
CaCl <sub>2</sub> , 2H <sub>2</sub> O	0,02g	Ensemenceme			
ZnSO <sub>2</sub> , 7H <sub>2</sub> O	0,1mg	nt en milieu de			
CuSO <sub>4</sub> , 5H <sub>2</sub> O	0,02mg	culture solide			
CoCl <sub>2</sub> , 6H <sub>2</sub> O	2μg		25 °-28 °C	7 jours	
MoCl <sub>2</sub> , 4H <sub>2</sub> O	2μg				
Na <sub>2</sub> Mn,	1μg				(Allison,
2H2O					1965);
Sulfate de	1 L				(Tiedje,
zinc					1994)
Nitrate de	5 g				
Sodium					
Agar-agar	15 g				

Les résultats ont été donnés en Unités Formant Colonies (UFC) par 100 g d'échantillon ou par g d'échantillon en utilisant la formule ci-dessous :

$$(\mathit{UFC}/100g(poids\ humide) = \frac{\mathit{Nombre}\ de\ colonies\ compt\'es}{\mathit{poids}\ de\ l'\'echantillon\ humide\ en\ g} x 100$$

Annexe 3 : Tableau récapitulatif des réactifs pour l'analyse des bactéries denitrifiantes

.

composés	réactifs	quantités	méthode	températures	<b>Durée d'incubation</b>	références
	KNO3	5 g				
	Carbon source	4 g				
А	(NH4)2SO4	1 g				((Allison, 1965); (Tiédje, 1995))
	K2HPO4, 3H2O	0,87 g	milieu liquide 25 -28 °C 21 Jours			
	K2HPO4	0,54 g				
В	MgSO4, 7H2O	2 g		miliou liquido 25 30 °C 21 Jours	21 lours	
	CaCl2 2H2O	0,2 g		23 -26 C	21 Jours	
	FeSO4 7H2O	0,1 g				
С	MnSO4 H2O	0,05 g				
C	CuSO4, 5H2O	0,01 g				
	Na2MoO4 2H2O	0,01 g				
	HCI (0,1 N)	100 ml				

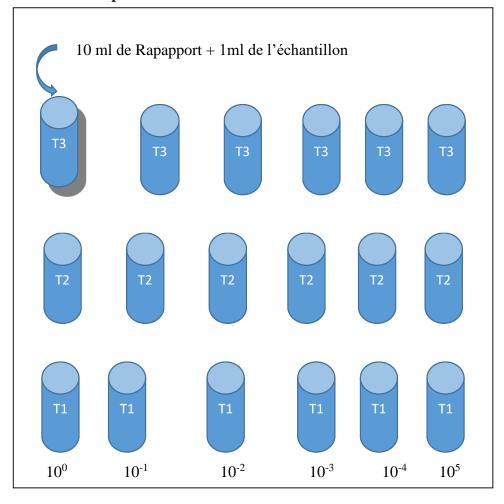
**Préparation de A**: ajouter l'ensemble du composé dans 1L d'eau distillé et mettre à l'autoclave pendant 15 min à 121° C.

**Préparation de B**: ajouter MgSO4, 7H2O dans 1 L d'eau distillé et mettre à l'autoclave pendant 15 min à 121° C

**Préparation de C**: ajouter l'ensemble du composé dans 1L d'eau distillé et mettre à l'autoclave pendant 15 min à 121° C.

**Préparation de D :** après refroidissement des composés A, B et C, mélanger 980 ml de A, 10 ml de B et 10 ml de C et bien remuer l'ensemble pour obtenir la solution D.

Annexe 4 : Mode opératoire d'incubation des salmonelles



## Table de Mac-grady

2 tubes par	dilution	3 tubes par dilution					
Nombre	Nombre de	Nombre	Nombre de	Nombre	Nombre de	Nombre	Nombre de
caractéristique	cellules	caractéristique	cellules	caractéristique	cellules	caractéristique	cellules
000	0.0	000	0.0	201	1.4	302	6.5
001	0.5	001	0.3	202	2.0	310	4.5
010	0.5	010	0.3	210	1.5	311	7.5
011	0.9	011	0.6	211	2.0	312	11.5
020 100	0.9 0.6	020 100	0.6 0.4	212 220	3.0 2.0	313 320	16.0 9.5
100	1.2	100	0.4	220	3.0	320 321	9.5 15.0
110	1.3	101	1.1	222	3.5	322	20.0
111	2.0	110	0.7	223	4.0	323	30.0
120	2.0	111	1.1	230	3.0	330	25.0
121	3.0	120	1.1	231	3.5	331	45.0
200	2.5	121	1.5	232	4.0	332	110.0
201	5.0	130	1.6	300	2.5	333	140.0
210	6.0	200	0.9	301	4.0		_
211	13.0						
212 220	20.0 25.0						
220	70.0						
222	110.0						
			5 tubes pa	r dilution			
Nombre	Nombre de	Nombre	Nombre de	Nombre	Nombre de	Nombre	Nombre de
caractéristique	cellules	caractéristique	cellules	caractéristique	cellules	caractéristique	cellules
000	0.0	203	1.2	400	1.3	513	8.5
001	0.2	210	0.7	401	1.7	520	5.0
002	0.4 0.2	211 212	0.9 1.2	402 403	2.0 2.5	521	7.0 9.5
010 011	0.2	212	0.9	410	1.7	522 523	12.0
012	0.6	221	1.2	411	2.0	524	15.0
020	0.4	222	1.4	412	2.5	525	17.5
021	0.6	230	1.2	420	2.0	530	8.0
030	0.6	231	1.4	421	2.5	531	11.0
100	0.2	240	1.4	422	3.0	532	14.0
101	0.4	300	0.8	430	2.5	533	17.5
102 103	0.6 0.8	301 302	1.1 1.4	431 432	3.0 4.0	534 535	20.0 25.0
110	0.8	302 310	1.4	432 440	3.5	540	13.0
111	0.6	311	1.4	441	4.0	541	17.0
112	0.8	312	1.7	450	4.0	542	25.0
120	0.6	313	2.0	451	5.0	543	30.0
121	0.8	320	1.4	500	2.5	544	35.0
122	1.0	321	1.7	501	3.0	545	45.0
130	0.8	322	2.0	502	4.0	550	25.0
131 140	1.0 1.1	330 331	1.7 2.0	503 504	6.0 7.5	551 552	35.0 60.0
200	0.5	340	2.0	510	3.5	553	90.0
	0.7	341	2.5	511	4.5	554	160.0
201	U. /	141	4.3	311	4.3	3.34	I DU U

#### Annexe 5 : protocole d'analyse des œufs d'helminthes

Le dénombrement des œufs d'helminthes dans le compost durant notre travail a été réalisé suivant la méthode modifiée de séparation (diphasique de sédimentation et flottation) suivie d'observation au microscope de l'Agence Américaine de la Protection de l'Environnement US-EPA (Schwartzbrod J. et al 1998)

Il s'agit de:

-Suspendre 10 g de boues dans 400 ml d'eau de robinet puis agiter à l'aide d'un agitateur magnétique et d'un barreau aimanté pour dissoudre. (2 heures environ)

Laisser au repos (sédimenter) pendant 3 h.

Récupérer le maximum de surnageant possible

Placer le sédiment dans un flacon de centrifugation de 450 ml

Centrifuger à 1400 tours/mn pendant 10mn

Récupérer la phase liquide (surnageant) et verser la phase solide (dépôt) dans un volume de 150 ml avec du sulfate de zinc de densité 1,3

Homogénéiser avec une spatule,

Centrifuger à 1050 tours/mn pendant 3 minutes

Verser le surnageant du sulfate de zinc dans un flacon de 2 litres et le diluer avec au moins 1 litre d'eau

Laisser au repos pendant 3 h

Récupérer le maximum du surnageant et suspendre le dépôt en l'agitant et le vidant dans 2 tubes de 50 ml et rincer 2 à 3 fois avec de l'eau distillée

Centrifuge à 1600 tours/mn pendant 3 minutes

Regrouper les dépôts dans un tube 50 ml et centrifuger à 1600 tours/mn pendant 3 minutes

Suspendre à nouveau dans 5 ml d'une solution d'acide acétique

Et ajouter 10 ml d'éther éthylique ou 5 ml d'acétate d'éthyl

Secouer et ouvrir occasionnellement pour laisser sortir le gaz

Centrifuger à 660 g pendant 3 minutes

Trois phases se distinguent dans chaque tube, les œufs se concentrent au fond du tube en cône.

Eliminer les deux premières phases et laisser 1 ml environ.

**D**éposé entre lame et lamelle une goutte d'environ 0,05 ml, observé au microscope puis compter les œufs.

#### Quantification

### Nombre œufs d'helminthes/litre = (somme des œufs d'helminthes présents/Volume)\*k

V = volume de l'échantillon initial de boue

 $\mathbf{k}$  = constant due à la performance de la méthode k=1.42)

Déduire le nombre d'œufs au poids de la boue sèche dilué

Tableau 5.1 : différents œufs d'helminthes trouvés dans les derniers échantillons

Туре	Nombre d'œufs dans la FTAUE	Nombre d'œufs dans la FTSUE
Ascaris	9	6
Trichuris trichiura	1	2
Enterobius vermicularis	1	3
Larve	2	0

### Annexe 6 : photos de compost et mesure de température



1.1 Compost dans la fosse



1.2 Echantillon de compost

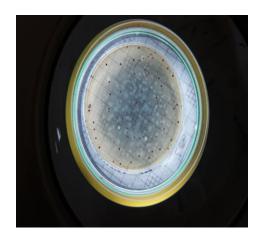


1.3 Mesure de la température



1.4 Compost dans le bioréacteur

## **Annexe 7: photos des microorganismes**



3.1. Coliformes fécaux



3.2 Œuf d'helminthe

### Annexe 8 : Résultats microbiologie de la toilette TAUE

### 7.1 Coliformes fécaux, E. coli et Streptocoques fécaux

DATE	CF	E. coli	SF
05/04/2019	1,30 E+05	0,00 E+00	7,50 E+05
10/04/2019	9,00 E+05	0,00 E+00	2,17 E+07
15/04/2019	2,66 E+07	0,00 E+00	2,87 E+08
20/04/2019	2,38 E+05	0,00 E+00	1,60 E+07
25/04/2019	2,01 E+03	2,01 E+03	2,68 E+05
30/04/2019	8,60 E+03	0,00 E+00	1,55 E+04
06/05/2019	1,67 E+04	4,70 E+03	1,18 E+06
11/05/2019	2,09 E+04	2,06 E+04	3,56 E+06
16/05/2019	1,85 E+04	1,59 E+04	7,70 E+04
21/05/2019	1,45 E+04	1,23 E+03	1,53 E+05
27/05/2019	6,00 E+03	5,80 E+02	6,90 E+04
03/06/2019	7,10 E+03	2,50 E+02	3,40 E+06
07/06/2019	7,90 E+03	2,800E +02	8,90 E+04
12/06/2019	5,80 E+03	2,50 E+01	1,44 E+04
17/06/2019	4,10 E+03	1,20 E+01	2,50 E+04
22/06/2019	2,60 E+04	0,00 E+00	2,83 E+05

# 7.2 Microorganismes dégradant la matière organique

DATE	<b>Bactéries hétérotrophes</b>	Actinomycètes	Mycètes	Bactéries oxydatrices d'ammonium	bactéries nitrifiantes	bactéries denitrifiantes
05/04/2019	4,00 E+13	3,20 E+01	6,60 E+02	2,00 E+02	1,85 E+02	60
10/04/2019	4,90 E+12	3,40 E+02	6,40 E+03	4,80 E+02	4,44 E+02	25
15/04/2019	3,00 E+10	3,70 E+01	9,00 E+02	3,30 E+02	3,06 E+02	60
20/04/2019	8,40 E+09	4,60 E+01	5,40 E+02	8,10 E+01	7,79 E+01	60
25/04/2019	3,20 E+08	4,20 E+02	7,80 E+02	2,70 E+02	2,60 E+02	600
30/04/2019	7,30 E+09	3,30 E+02	3,40 E+02	9,20 E+01	9,20 E+01	2500
06/05/2019	3,60 E+08	1,55 E+02	4,10 E+02	8,60 E+01	8,60 E+01	2500
11/05/2019	5,30 E+09	4,50 E+01	6,90 E+02	1,63 E+02	1,63 E+02	2500
16/05/2019	4,90 E+08	3,40 E+01	8,50 E+01	8,80 E+01	9,46 E+01	2500
21/05/2019	4,00 E+10	6,00 E+01	5,80 E+01	9,60 E+01	1,03 E+02	700
27/05/2019	4,60 E+10	3,40 E+02	4,40 E+02	1,16 E+02	1,16 E+02	130
03/06/2019	8,30 E+10	9,20 E+03	8,70 E+04	9,60 E+01	9,60 E+01	25
07/06/2019	5,60 E+11	8,10 E+03	8,80 E+04	1,08 E+02	1,10 E+02	600
12/06/2019	4,40 E+11	8,60 E+04	7,00 E+05	9,80 E+01	1,00 E+02	250
17/06/2019	7,30 E+11	8,10 E+03	3,40 E+05	9,60 E+01	9,84 E+01	250
22/06/2019	4,30 E+11	8,60 E+04	3,40 E+05	1,40 E+02	1,43 E+02	250

### Annexe 9 : Tableau d'indice de germination et évaluation de la stabilité

### 8.1 Indice de germination

JOURS	IG FTSUE gombo	IG FTAUE gombo	IG FTSUE tomate	IG FTAUE tomate
1	70,3125	156,25	122,790698	74,1860465
5	89	114,0625	50	164,883721
10	260,9375	76,5625	146,511628	111,627907
15	135,2657	229,6875	104,76065	92,5581395
20	141,25	65,319567	127,674419	100,1244
25	267,1875	70,3125	135,813953	74,6511628
30	90,0625	80,625	95,8139535	107,906977
35	120,75	270,3125	85,5813953	172,790698
40	109,0625	189,0625	92,0930233	80,6976744
45	144,0506633	168,4375	180,8724	137,6744186

#### 8.2 Evaluation de la stabilité

Paramètres		FTAU	JE	FTSUE		Référence Stab		ité
		Date	Valeur	Date	Valeur	Albrecht (2007)	FTA UE	FTS UE
	BH (UFC/g)	30èm e jour	3,10 E+10	1er jour	4,10 E+11	Stabilisation	Oui	Oui
Microbiologiques	Actinomycètes (UFC/g)	1er jour	5,10 E+05	25ème jour	4,60 E+06	Stabilisation	Oui	Oui
	Mycètes (UFC/g)	1er jour	3,40 E+05	25ème jour	3,60 E+07	Stabilisation	Oui	Oui
	рН	30èm e jour	7,64	30ème jour	6,97	7 et 9	Oui	NON
physiques	T°C	20èm e jour	30 ° C- 31 °C					
	Teneur en eau	45èm e jour	58,72 %		50,33 %		NON	NON