

CARACTERISATION DE FILIERES D'ASSAINISSEMENT DES MATIERES DE TOILETTES SECHES MOBILES ET URBAINES

Rapport de MASTER PROFESSIONNLE
Mention : CHIMIE
Spécialité : Science et Ingénierie de l'Environnement

Présentation et soutenance prévue le 14/09/2016
à l'Université d'Angers
par **Qiong HE**

Entreprise d'accueil : Bureau d'Étude Toilettes Du Monde (TDM)

28, place des Arcades – 26110 NYONS

Tél : 33 (0)4 75 26 29 98 – Courriel : contact@toilettesdumonde.org

N° SIRET 434 563 243 00030 - APE 9499Z

Laboratoire Eau Environnement Systèmes Urbains (LEESU) (École des Ponts

ParisTech, AgroParisTech, UPEC)

6-8 avenue Blaise Pascal, Cité Descartes

77455 Champs sur Marne, Marne-La-Vallée Cedex 2

Tél : 33 (0)1 64 15 36 25

www.leesu.univ-paris-est.fr

Maître de stage : Florent BRUN, chef de projet Bureau d'Étude Toilettes Du Monde

Fabien ESCULIER, chercheur à l'École des Ponts ParisTech, Porteur du projet
OCAPI

Tuteur Universitaire: Pierre-Yves COMMUNAL

Jury : Alain JADAS-HECART

Pierre FRERE

Université d'Angers

2 boulevard Lavoisier, 49045 ANGERS cedex 01

☎ 02.41.73.54.96 – 02.41.73.52.46 📠 : 02.41.73.53.52 🌐 www.univ-angers.fr

CARACTERISATION DE FILIERES D'ASSAINISSEMENT DES MATIERES DE TOILETTES SECHES MOBILES ET URBAINES

Rapport de MASTER PROFESSIONNLE
Mention : CHIMIE
Spécialité : Science et Ingénierie de l'Environnement

Présentation et soutenance prévue le 14/09/2016
à l'Université d'Angers
par **Qiong HE**

Entreprise d'accueil : Bureau d'Étude Toilettes Du Monde (TDM)

28, place des Arcades – 26110 NYONS

Tél : 33 (0)4 75 26 29 98 – Courriel : contact@toilettesdumonde.org

N° SIRET 434 563 243 00030 - APE 9499Z

Laboratoire Eau Environnement Systèmes Urbains (LEESU) (École des Ponts

ParisTech, AgroParisTech, UPEC)

6-8 avenue Blaise Pascal, Cité Descartes

77455 Champs sur Marne, Marne-La-Vallée Cedex 2

Tél : 33 (0)1 64 15 36 25

www.leesu.univ-paris-est.fr

Maître de stage : Florent BRUN, chef de projet Bureau d'Étude Toilettes Du Monde

Fabien ESCULIER, chercheur à l'École des Ponts ParisTech, Porteur du projet
OCAPI

Tuteur Universitaire: Pierre-Yves COMMUNAL

Jury : Alain JADAS-HECART

Pierre FRERE

Université d'Angers

2 boulevard Lavoisier, 49045 ANGERS cedex 01

☎ 02.41.73.54.96 – 02.41.73.52.46 - 📠 : 02.41.73.53.52 🌐 www.univ-angers.fr



Je soussigné (e) ,
déclare être pleinement conscient (e) que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document
publiés sur toutes formes de support, y compris l'internet, constitue une violation des droits d'auteur
ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai
utilisées pour écrire ce rapport ou mémoire.

Signature :

MASTER PROFESSIONNEL Mention « Chimie » Spécialité : « Sciences et Ingénierie de l'Environnement »	
PROMOTION : 2015-2016	DATE DE SOUTENANCE : 14 Septembre 2016
AUTEUR : Qiong HE	LIEU DE STAGE : Bureau d'étude Toilettes Du Monde, 28 Place des Arcades, 26110 NYONS
MAITRE DE STAGE ENSEIGNANT : Fabien ESCULIER Florent BRUN	MAITRE DE STAGE PROFESSIONNEL : Pierre-Yves COMMUNAL
TITRE : Caractérisation de filières d'assainissement des matières de toilettes sèches mobiles et urbaines	
MOTS CLES : Toilettes Sèches Mobiles, Toilettes Sèches Urbaines, Économies d'eau, Compost, Santé, Environnement, Azote, Carbone, Phosphore, Urine, Excréta, Sous-produits de Toilettes Sèches.	
RESUME : Ce rapport présente une étude sur les filières de gestion des sous-produits issus de Toilettes Sèches afin d'en améliorer l'efficacité, à la fois en termes de valorisation agronomique de ces sous-produits et de minimisation des impacts sanitaires et environnementaux des filières. Ce stage a commencé par une analyse de la perception, par les usagers, de la gestion et des risques sanitaires liés aux Toilettes Sèches, puis une recherche sur les réglementations existantes en France et à l'étranger pour encadrer la collecte, le transport et la valorisation des sous-produits issus de Toilettes Sèches. La dernière partie présente une évaluation des filières de compostage que nous avons suivies afin de trouver des possibilités de maximiser la valorisation des nutriments présents dans les sous-produits de Toilettes Sèches.	
ABSTRACT : This report will present a study on the management and evaluation of the compost by-products from dry toilet to improve the efficiency of each sector of composting and maximizing value for carbon resources, nitrogen resource and phosphor resource. This internship began with a perception of waste management and the risks and health dry toilet (Mobile and Urban) and research on existing regulations in France and abroad to frame the collection, transport and recovery of dry toilet's production. The last part presents the assessment on the sectors of composting that we followed to identify opportunities to maximize recovery of resources nutrients present in byproducts of dry toilets.	
Je soussigné....., maître de stage professionnel de	
AUTORISE ou N'AUTORISE PAS ⁽¹⁾ : la publication des sources bibliographiques, des résumés français, anglais	
AUTORISE ou N'AUTORISE PAS ⁽¹⁾ : le dépôt du mémoire dans une bibliothèque	
Date :	Signature du maître de stage :

Remerciements

Les travaux qui font l'objet de ce rapport ont été réalisés au sein de l'association Toilettes Du Monde (TDM) et du Laboratoire Eau, Environnement et Systèmes Urbains (LEESU). TDM est un bureau d'études associatif basé dans le département Drôme et LEESU, un laboratoire commun à l'École des Ponts ParisTech, l'Université Paris-Est Créteil et AgroParisTech (UMR MA 102).

Dans un premier temps, je souhaite remercier toute l'équipe du Master Science et Ingénierie de l'Environnement de l'Université d'Angers.

Je tiens ensuite à remercier M. Florent BRUN^{1*} et M. Fabien ESCULIER^{2**}, pour leur accueil, leur patience, leur sens pédagogique et leurs conseils avisés concernant les missions réalisées et reportées dans le présent rapport. Merci également à tous mes collègues de TDM et LEESU : Mme Cendrine LABAUME*, Thibaud PASSAVANT*, Amel SMAIL**, pour leur aide, leur gentillesse et leur bonne humeur.

Pour finir, je remercie tous les collègues des autres sociétés avec lesquels nous avons travaillé, M. Rémy BAYARD, Steve, Fabien et Philippe pour avoir contribué à la réussite de ce travail.

¹ *Toilettes du Monde

² **Laboratoire Eau, Environnement et Systèmes Urbains

Table des matières

Index des figures, photographies et des tableaux	10
Sigles et abréviations.....	12
Introduction.....	14
1 Présentation des entreprises accueillies et les missions du stage.....	15
1.1 Bureau d'étude Toilettes Du Monde (TDM).....	15
1.2 Laboratoire Eau, Environnement et Systèmes Urbains (LEESU)	15
1.3 Présentation les missions du stage	16
2 Présentation des Toilettes Sèches.....	16
3 La perception des risques sanitaires des usagers de Toilettes Sèches Mobiles.....	19
3.1 Déroulement de l'enquête	19
3.1.1 Objectif et principes de l'enquête	19
3.2 Méthodologie de l'analyse	20
3.3 Analyse et synthèse des résultats d'enquêtes	21
3.3.1 Généralités	21
3.3.2 Satisfaction des utilisateurs.....	22
3.3.3 Impact sur la santé et l'environnement	23
3.4 Niveau de connaissance des particuliers sur les filières d'assainissement non collectif	24
3.5 Conclusion	25
4 Synthèse bibliographique des réglementations sur la gestion des sous-produits de Toilettes Sèches dans le monde	26
4.1 Objectif	26
4.2 Difficulté de l'étude bibliographique.....	27
4.3 Analyse des réglementations en France	27
4.4 Conclusion	29
5 Caractérisation des sous-produits issus des Toilettes Sèches.....	31
5.1 Les événements, prestataires et filières suivies.....	32
5.1.1 Définitions et gestions des filières.....	32
5.1.2 Présentation des événements et les prestataires	33
5.2 Les paramètres suivis pour la caractérisation des sous-produits issus de TS	35
5.3 Analyse sur les phases liquide (F1 et F2).....	37
5.3.1 Caractéristiques physico-chimiques et microbiologique sur F1 et F2.....	37
5.4 Conclusion :	44
5.5 Analyse sur les Phases Solides (F3 et F4).....	44

5.5.1	Caractéristiques physico-chimiques, microbiologiques et agronomiques sur F3 et F4	44
5.6	Conclusion	52
	Conclusion	54
	Bibliographie.....	55
	Ensemble des documents consultés	57
	Annexe 1 : Les sous-produits des différents types de toilettes sèches (pour une famille de 4 personnes).....	59
	Annexe 2 : Fiche animation des Toilette Sèches	60
	Annexe 3 : Les questionnaires d'enquête adressé aux festivals	61
	Annexe 4 : Les filières de la gestion des sous-produits issus de Toilettes Sèches (E1 et E2).....	63
	Annexe 5 : Quelques réglementations qui encadrent la gestion des Toilettes Sèches	64
	Annexe 6 : L'exemple d'une expérience en Allemagne	66
	Annexe 7 : Impact des déchets verts sur la microbiologie du compost.....	68
	Annexe 8 : Quelques photos de TS.....	69

Index des figures, photographies et des tableaux

Figure 1: Caractéristiques des eaux usées domestiques (4)	18
Figure 2: Classification des Toilettes Sèches (5)	18
Figure 3: Carte représentant la localisation des enquêtés par région	20
Figure 4: Pourcentage des personnes interrogées sur l'utilisation de TS privées, publiques, mobiles et fixes.	21
Figure 5: Le cadre de l'utilisation de TS (tableau croisé avec le sexe)	21
Figure 6: Les respections sur l'importance dans des toilettes sèches mobiles.....	22
Figure 7: Pourcentage de personnes s'asseyant sur la lunette des toilettes publiques.	23
Figure 8: Lorsque vous sortez de Toilettes Sèches Mobiles, vous avez tendance à	23
Figure 9: Selon vous, quelles seraient les voies pour limiter l'impact environnemental dans la gestion des litières ?.....	23
Figure 10: Pour vous, où sont les risques ?	24
Figure 11: Comment sont traités vos excréments ?.....	24
Figure 12: Manger des fruits/légumes dont les plants ont bénéficié d'engrais issus des toilettes, est-il dangereux pour la santé ?	25
Figure 13: Identification des festivals et prestataires de l'étude	34
Figure 14: Comparaison de l'évolution du pH de l'urine (F1 et F2)	38
Figure 15: L'évolution des Matières en Suspension (F1).....	39
Figure 16: L'évolution des Matières en Suspension (F2).....	39
Figure 17: L'évolution de la DCO (F1 et F2)	39
Figure 18: L'évolution de la DBO ₅ (F1 et F2)	39
Figure 19: L'évolution du ratio DCO/DBO ₅	39
Figure 20: L'évolution de NTK de F1 et F2.....	41
Figure 21: L'évolution de NH ₄ ⁺ de F1 et F2.....	41
Figure 22: L'évolution de phosphate de F1 et F2	42
Figure 23: Comparatif des résultats pour le paramètre E.coli de F1 et F2.....	43
Figure 24: Comparatif des résultats pour le paramètre Entérocoque de F1 et F2	43
Figure 25: Suivis des températures au cours du compostage.....	44
Figure 26: L'évolution du pH des matières brutes de F3 et F4.....	46
Figure 27: Évolution de l'Humidité.....	47
Figure 28: L'évolution de NTK des M.B. de F3 et F4 (valeurs d'E2+E3 issues des ordonnées de droite)	48
Figure 29: Comparaison de l'évolution du taux de MO des M.B.	48
Figure 30: Comparaison de l'évolution de carbone des M.B.	49
Figure 31: L'évolution du rapport MO/C	49
Figure 32: Évolution des ratios C/N.....	50
Figure 33 : Comparatif des résultats pour le paramètre E.coli de F3 et F4.....	50
Figure 34 : Comparatif des résultats pour le paramètre Entérocoque de F3 et F4	51
Figure 35: Evolution de Cl.Perfringens (UFC/g) de F3 et F4	52
Figure 36: Schéma du traitement MBT	66
Figure 37: Comparaison des concentrations en E.coli (matières fraîches, déchets verts et mélange des 2).....	68

Figure 38: Comparaison des concentrations en Entérocoques (matières fraîches, déchets verts et mélange des 2)	68
Figure 39: Comparaison des concentrations en ASR 37°C (UFC/g) (matières fraîches, déchets verts et mélange des 2)	68
Figure 40: Comparaison des concentrations en ASR 37°C (spores/g) (matières fraîches, déchets verts et mélange des 2)	68
Figure 41: Comparaison des concentrations en Cl.perf. (UFC/g) (matières fraîches, déchets verts et mélange des 2)	68
Figure 42: Comparaison des concentrations en Cl.perf. (spores/g) (matières fraîches, déchets verts et mélange des 2)	68
Tableau 1: Les paramètres suivis pour F1 et F2	30
Tableau 2: Les paramètres suivis pour F3 et F4	31
Tableau 3: Tableau synthétique par filière.....	32
Tableau 4:Flux des déchets	33
Tableau 5: Les caractéristiques des collectes de 6 évènements.....	34
Tableau 6: Volumes des matières collectés et des Déchets Verts utilisés	35
Tableau 7: Les paramètres suivis pour F1 et F2	36
Tableau 8: Les paramètres suivis pour F3 et F4	37
Équation 1: Formule de la calcule la marge d'erreur (6).....	20
Photo 1: F1/L2 urinoir pour urine pure	69
Photo 2:F1/L4 urinoir pour urine pure	69
Photo 3: F4/L2 urinoir pour urine pur	69
Photo 4: F4/L4 urinoir pour urine pur	69
Photo 5:Utilisation de la matière carbonée E2/F3 en gobelet	69
Photo 6: Utilisation de la matière carbonée E1/F3 en gobelet	69

Sigles et abréviations

AC : Assainissement Collectif

ANC : Assainissement Non Collectif

ASR 37°C : Anaérobies SulfiteRéducteurs à 37°C

DEEP : Laboratoire Déchets, Eau, Environnement et Pollution (INSA de Lyon)

DCO : Demande Chimique en Oxygène

DBO₅ : Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours

DV : Déchets Verts (utilisé comme co-composta sur la plateforme, ex : litière de volaille, paille, déchets de potager et coupe)

ISDND : Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux

INSA : Institut National des Sciences Appliquées de Lyon

M.B.: Matière Brut

MBT: Mechanical Biological Treatment

MC: Matière Carbonée

MO : Matière Organique

MODECEM : Méthode de Caractérisation des Ordures Ménagères

MP : MicroPolluant

N : Azote

OCAPI : Optimisation des cycles Carbone, Azote et Phosphore en ville

OMR: Ordures Ménagères Résiduelles

P : Phosphore

ICPE : Installations Classées pour la Protection de l'Environnement

SIAAP : Syndicat interdépartemental d'assainissement de l'agglomération parisienne

STEP : Station d'Épuration

TDM : L'association Toilettes Du Monde

TLB : Toilette à Litière Biomaîtrisée

TS : Toilette Sèche

TSM : Toilette Sèche Mobile

LEESU : Laboratoire Eau, Environnement et Systèmes Urbains²

TDM : Toilettes Du Monde

VL : Véhicule léger

VU : Véhicule utilitaire

Introduction

Le Laboratoire Eau, Environnement et Systèmes Urbains (LEESU) (École des Ponts ParisTech, AgroParisTech, UPEC) a lancé un projet de recherche en 2014 afin de maximiser la valorisation des ressources carbonées, azotées et phosphorées présentes dans les eaux usées en limitant l'impact environnemental du système d'assainissement. Une autre étude financée par ADEME a été lancée par l'association Toilettes Du Monde (TDM) en 2015 sur la gestion (collecte, transport et stockage) des sous-produits issus des Toilettes Sèches (TS) et les risques sanitaires associés. Ces deux études ont été rassemblées en un projet commun qui consiste à « caractériser des sous-produits issus de TS » et de fournir des recommandations techniques et réglementaires pour la gestion de toilettes sèches mobiles ou urbaines. Mon stage, basé sur ce projet a consisté à réaliser les missions suivantes :

- a. La perception des risques sanitaires des usagers de Toilettes Sèches Mobiles
- b. Synthèse bibliographique des réglementations sur la gestion des sous-produits de Toilettes Sèche dans le monde
- c. Caractérisation des sous-produits issus des Toilettes Sèches

Ce stage s'est effectué du 15 Mars au 16 Septembre 2016 dans les locaux de TDM à Nyons (dans le département de la Drôme) sous la responsabilité de deux maîtres de stage, M. Florent BRUN (TDM) et M. Fabien ESCULIER (LEESU).

1 Présentation des entreprises accueillies et les missions du stage

1.1 Bureau d'étude Toilettes Du Monde (TDM)

Toilettes Du Monde (TDM) est un bureau d'études associatif basée à Nyons (Drôme 26) et dispose d'une antenne au Gabon (Antenne TDM au Gabon). Elle a été créée en 2001, par M. Pierre COLOMBOT, actuellement président du conseil d'administration de l'entreprise SANISPHERE. M. COLOMBOT est aussi le créateur de cette entreprise (créée en 1991, à Saint-Ferréol-Trente-Pas, Drôme). Cette équipe d'ingénieurs travaille pour les concepteurs, fabricants et assembleurs de toilettes sèches publiques. Dans les années 90, il n'existait pas de bureau d'études travaillant sur les « Toilettes Sèches ». M. COLOMBOT a donc décidé de créer une association qui travaille sur ce projet pour pallier ce manque. C'est l'association Toilettes Du Monde (TDM).

Depuis quinze ans, TDM travaille en France pour le développement et l'accompagnement des filières d'éco-assainissement (ou assainissement écologique). TDM met son expertise au service de projets en France et à l'international, afin d'améliorer l'accès des populations défavorisées à des services d'assainissement durable de base. Aujourd'hui, cette équipe est composée de 4 permanents qui proposent leurs expériences et compétences dans le domaine de l'assainissement durable et plus spécifiquement, sur l'assainissement non collectif (ANC) dit autonome en milieu urbain ou rural.

Dans cette étude, en partenariat avec l'ADEME, le RAE, l'ISAE et l'INSA de Lyon, nous avons analysé des échantillons collectés (litière, sciure, urine, matière fécale issues de TS) dans les festivals par des prestataires de TS.

1.2 Laboratoire Eau, Environnement et Systèmes Urbains (LEESU)

Le laboratoire Eau, Environnement et Systèmes Urbains (LEESU) est un laboratoire commun de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, l'Université Paris-Est Créteil et AgroParisTech (UMR MA 102) spécialisé dans la gestion de l'eau en ville (eau urbaine) sous différents aspects :

- Physique et hydrologique avec l'étude du cycle des eaux pluviales : précipitations, ruissellement, écoulements ;
- Biogéochimique avec l'étude des sources et devenir des contaminants chimiques et microbiologiques sur les bassins versants urbains et leur impact sur le milieu récepteur ;
- Socio-technique avec l'étude des politiques et des usages de l'eau et de leurs évolutions en milieux urbains.

LEESU rassemble 31 permanents, 22 chercheurs et enseignants-chercheurs et 28 doctorants et post-doctorants, sous la direction de Monsieur Régis Moilleron.

Depuis 2014, le LEESU, en partenariat avec 3 autres organismes de recherche, a lancé un projet de recherche sur l'Optimisation des cycles Carbone, Azote et Phosphore en ville (OCAPI) avec comme objectif l'évolution des systèmes d'assainissement urbains permettant de maximiser la valorisation

des ressources carbonées, azotées et phosphorées présentes dans les eaux usées, en particulier par les techniques de séparation à la source des urines et/ou matières fécales. Ce projet est financé par :

- Ecole des Ponts ParisTech
- Syndicat interdépartemental d'assainissement de l'agglomération parisienne (SIAAP)
- Agence de l'Eau Seine Normandie (AESN)
- Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie (MEDDE)

Equipes associées avec :

- METIS (CNRS, EPHE, UPMC) UMR 8545
- Laboratoire Eau, Environnement et Systèmes Urbains (LEESU) (Ecole des Ponts ParisTech, AgroParisTech, UPEC)
- Géographie-Cités (CNRS, Paris-Diderot, Panthéon Sorbonne)

1.3 Présentation les missions du stage

Les missions de ce stage sont classées en trois parties selon leurs principes et buts. **La partie 'a'** a commencé au début de stage, jusqu'à la fin du mois d'avril. **Les parties 'b' et 'c'** ont en parallèle, commencé au cours du mois du mai et ont continué jusqu'à la fin du stage.

a. La perception des risques sanitaires des usagers de Toilettes Sèches Mobiles

Cette partie consiste en l'analyse des résultats de l'enquête sur la perception des risques sanitaires des usagers de Toilettes Sèches Mobiles (TSM).

b. Synthèse bibliographique des réglementations sur la gestion des sous-produits de Toilettes Sèches dans le monde

On trouve peu de références sur le cadrage des installations, du stockage et du transport des sous-produits issus de TS ; nous avons donc réalisé une étude bibliographique afin de synthétiser les textes existants et procéder à des recommandations basées sur des filières de gestion des sous-produits développées à l'étranger.

c. Caractérisation des sous-produits issus des Toilettes Sèches

J'ai travaillé sur la caractérisation des sous-produits de TS (litières, sciures, urine, matière fécale ET compost) afin de connaître les possibilités d'augmentation de l'efficacité du compostage et d'analyser les méthodes optimales, d'un point de vue santé et environnement, de gestion des sous-produits de TS.

2 Présentation des Toilettes Sèches

La toilette sèche, aussi appelée toilette à compost ou toilette à litière (sèche), est une latrine qui n'utilise pas d'eau et permet de récupérer les excréments pour en faire du compost --- Techno-science. (1)

Le développement des TS a d'abord eu lieu dans des endroits où il n'avait pas assez d'eau ou d'assainissement collectif. Aujourd'hui, l'eau est devenue un sujet prioritaire et chacun doit faire ce qu'il peut pour économiser l'eau. Les TS sont un outil pratique et facile à installer pour économiser l'eau. Cela peut aussi être une première étape pour les filières du compostage organique.

Différents systèmes de TS ont été développés depuis plusieurs siècles dans le monde entier, notamment dans les pays en manque d'eau et d'assainissement collectif. Les TS sont anciennes en Europe où toutes les toilettes ou presque étaient sèches au 19^{ème} siècle (2). Par exemple, en Angleterre, des toilettes à terre ont été inventées par Thomas Sziburne en 1836. En France à partir de 1860, des toilettes à terre sont commercialisées par la « Moule Patent Earth-Closet Company Ltd », fondée par Henry Moule. Dans les années 70, des chercheurs ont lancé des études afin d'évaluer le fonctionnement de TS au Canada et aux États-Unis pour un usage en milieu naturel (3).

Les TS peuvent être classées en plusieurs types selon leur position et utilisation (TS publique et privée, TS mobiles et urbaine, TS à séparation de l'urine, TS à litière Biomaîtrisée, etc.). Les TS familiales se sont développées principalement dans des lieux de loisirs (ex : familiaux, résidences dans les pays nordiques). La TS publique est souvent de type Mobile (TSM) et majoritaire pendant des festivals. **Le type de TS le plus répandue en France est la Toilettes à Litière Biomaîtrisée (TLB)** grâce à la simplicité de son installation et à son faible coût. Ce type de TS peut être installé très facilement et n'importe où avec une consommation de litière carbonée entre 1 et 2 m³ par an pour une famille (2).

La TS est une technique plus générale utilisée dans l'assainissement écologique et non collectif. Les matières fécales issues des TS ne représentent que 1% (4) du volume des eaux usées mais contiennent la majorité de la pollution³. Sur le Figure 1, nous pouvons constater que l'urine est la première source de pollution de la filière des eaux usées urbaines, suivie par les matières fécales. Imaginons que si l'on séparait ces deux sources de l'eau ménagère, l'eau ménagère sera dès lors, plus facile à traiter. L'utilisation de TS peut être le premier pas de l'optimisation du traitement des eaux ménagères.

On constate aujourd'hui que le développement des toilettes sèches est cantonné à des applications restreintes (familles volontaires, toilettes mobiles de festivals). Or, outre la problématique de l'économie d'eau et de préservation de la qualité de l'eau des rivières, l'assainissement conventionnel est de plus en plus remis en question aujourd'hui par les problèmes structurels qu'il pose : non recyclage des ressources contenues dans l'urine et les matières fécales, émissions de gaz à effet de serre, fragilité d'un système centralisé, etc., tel que mis en lumière dans le projet OCAPI. Ainsi, le déploiement de nouvelles toilettes sèches, encore à inventer, dans une optique de changement des pratiques de l'assainissement des villes occidentales, est un enjeu phare dans lequel s'inscrit les travaux de mon stage.

³ Azote, phosphore, potassium, DCO.

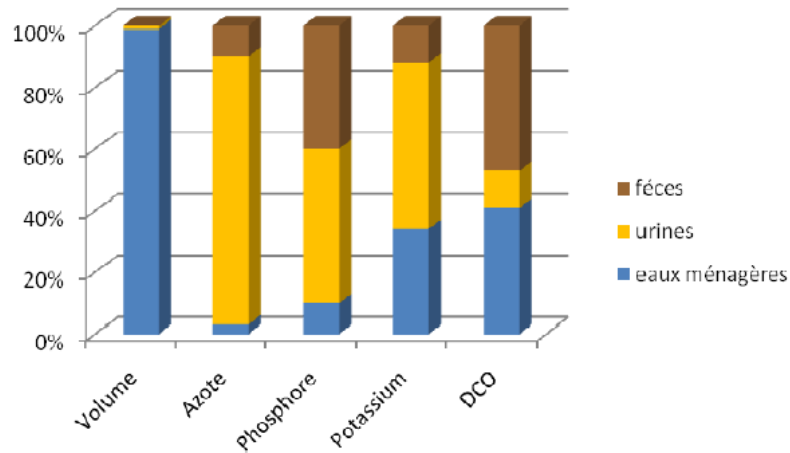


Figure 1: Caractéristiques des eaux usées domestiques (4)

Selon le type de la collecte, les TS sont classées en deux catégories principales : Toilettes Sèches Unitaires et Toilettes à séparation à la source (séparation de l'urine).

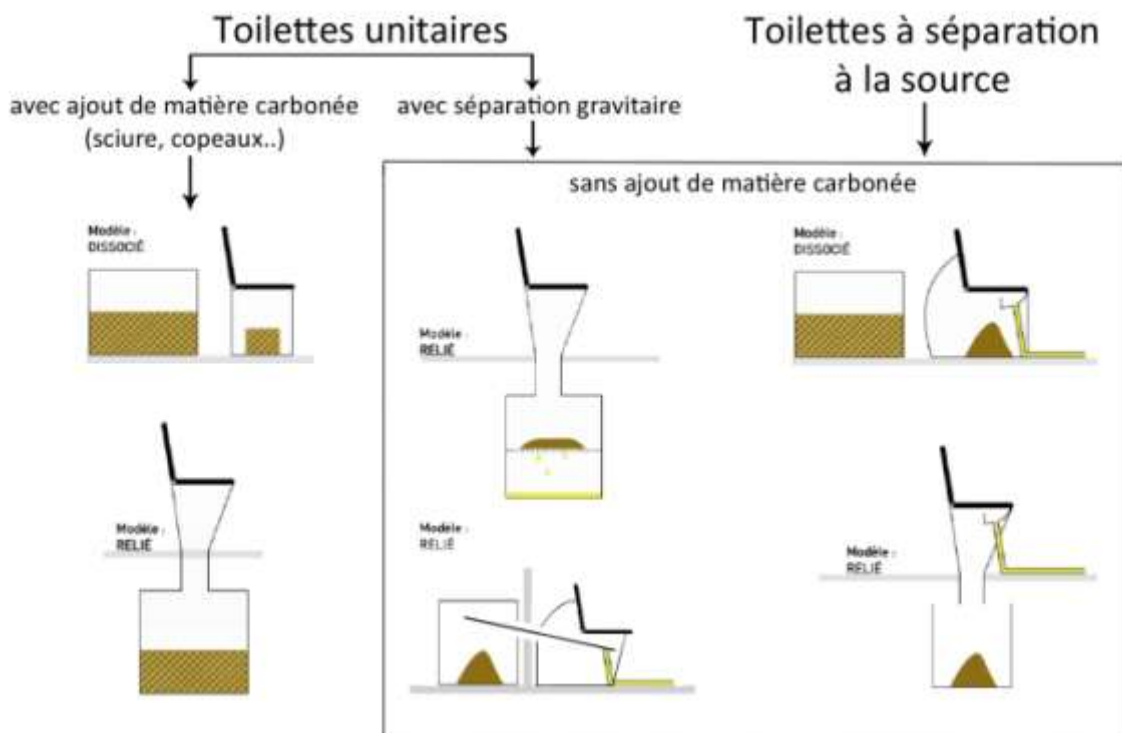


Figure 2: Classification des Toilettes Sèches (5)

Les Toilettes à séparation à la source (les 4 TS droits sur la Figure 2), sont des TS à séparation de l'urine et de la matière fécale. Pour ce type de TS, l'urine est stockée dans un bidon de 10 à 20L (plus courant) ou envoyé directement dans le système d'assainissement collectif (comme les eaux ménagères). La cuve stockée des matières fécales qui contient un petit ventilateur permet de sécher

des matières fécales et éviter des mauvaises odeurs⁴. Les deux types de TS au milieu de la Figure 2 peuvent être classés dans la catégorie 'Toilette Unitaire'. L'urine et les matières fécales sont collectées dans la même cuve (les 4 TS gauches) puis séparées par un filtre⁵ (les 2 TS au milieu). Dans ce dernier cas, nous préférons ajouter des Matières Carbonées (MC) au fond de la cuve et après chaque utilisation afin d'absorber du liquide et éviter les mauvaises odeurs.⁶

3 La perception des risques sanitaires des usagers de Toilettes Sèches Mobiles

La première partie de ce stage a consisté en l'analyse des résultats de l'enquête sur la perception des risques sanitaires des usagers de Toilettes Sèches Mobiles (TSM) qui a été réalisée sur la période juillet-août 2015.

3.1 Déroulement de l'enquête

3.1.1 Objectif et principes de l'enquête

L'objectif de cette enquête est de mieux connaître la perception des risques sanitaires associés aux TS des usagers et organisateurs de festivals. Mon travail a été d'analyser et mettre en forme les résultats.

Cette enquête contient 27 questionnaires (annexe 3) qui ont été élaborés conjointement par le Réseau Assainissement Écologique (RAE) et TDM au mois de juin 2015. Les questionnaires ont été réalisés selon 2 modes :

- Entretien en face à face auprès de 117 personnes sur l'ensemble des 4 festivals concernés par l'étude.
- Formulaire en ligne complété par 65 personnes entre juillet 2015 et mars 2016 (les personnes ayant répondu ont disposé du lien web grâce à des tracts distribués lors des événements couverts).

Les questionnaires sont basés sur les trois thèmes suivants :

- Généralités des Toilettes Sèches (TS)
- Satisfaction des utilisateurs
- Niveau de connaissance des particuliers sur l'impact de la santé et l'environnement

Les réponses de l'enquête proviennent de 12 régions de France et trois de l'étranger : Canada, Cameroun et Grèce (Figure 3). Les régions les plus représentées sont notamment la Bretagne, Aquitaine Limousin Poitou-Charentes et Auvergne-Rhône-Alpes.

⁴ Nous ajoutons souvent des matières carbonées (MC) au fond de cuve afin d'éviter les odeurs.

⁵ Par exemple: des plaques ajourées

⁶ Pour savoir plus d'information sur l'installation et la gestion de TS, voir l'annexe 1 et 2 de ce rapport.

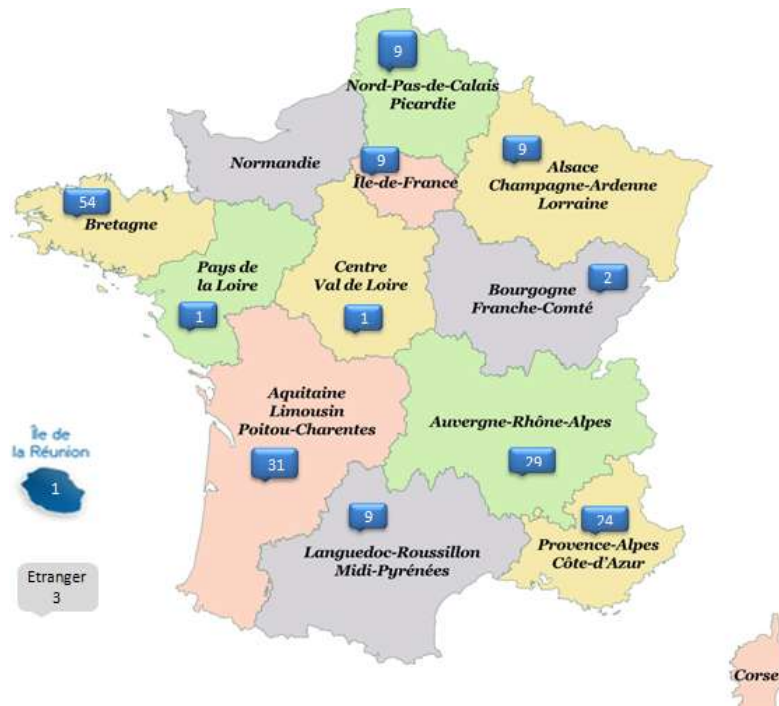


Figure 3: Carte représentant la localisation des enquêtes par région

3.2 Méthodologie de l'analyse

Le nombre total de questionnaires renseignés est de **182**, sur une population mère moyenne de 55 100 festivaliers par jour⁷. Nous nous basons ici sur un niveau de confiance à 95% et avons obtenu **une marge d'erreur de 7,25%** (si on considère que la population mère est finie) et à 7,26% (Si la population mère est considérée comme infinie). Nous pouvons donc dire que notre résultat est assez fiable⁸

$$e = t^* \sqrt{\frac{p*(1-p)}{n}} \sqrt{\frac{N-n}{N-1}} = 1,96^* \sqrt{\frac{0,5*(1-0,5)}{182}} \sqrt{\frac{55100-182}{55100-1}} = 0,07252 = 7,25\%$$

Équation 1: Formule de la calculer la marge d'erreur (6).

Où :

N : Taille de la population mère

e : Marge d'erreur

n : Taille d'échantillon

t : Égale à 1,96, coefficient de marge déduit du taux de confiance à 95% (valeur standard)

⁷ Nombre de festivaliers moyen par jour sur l'ensemble des 10 événements couverts

⁸ La marge d'erreur correspond à la différence entre le résultat obtenu à partir d'un échantillon et le résultat qui serait obtenu si on avait interrogé la totalité de la population mère. Ça veut dire que plus la valeur de la marge d'erreur est petite, plus on est fiable.

p : Proportion des éléments de la population mère (en réel estimé à 55 100 personnes). Par convention, la valeur de 'p' est mise à 50% car c'est à cette valeur que la marge d'erreur est la plus petite, nous pouvons obtenir donc un résultat plus fiable.

3.3 Analyse et synthèse des résultats d'enquêtes

3.3.1 Généralités

Toutes les classes d'âge sont représentées avec cependant une certaine homogénéité de la représentativité des classes d'âge visées par l'événementiel festival. Il y a environ 33% des personnes interviewées qui ont entre 15 et 25 ans, 29% ont entre 25 et 35 ans, 34% entre 35 et 65 ans et 4% des enquêtés ont plus de 65 ans.

79% des personnes interrogées dont 60% de femmes et 40% d'hommes, proche de la répartition homme (48,49%) / femme (51.5%) en France, ont déjà utilisé des Toilettes Publiques⁹. La quasi-totalité des enquêtés a déjà utilisé une Toilette Sèche (93%), généralement plus de femmes que d'hommes. Nous constatons que les femmes utilisent plus les toilettes publiques et/ou les toilettes sèches mobiles que les hommes.

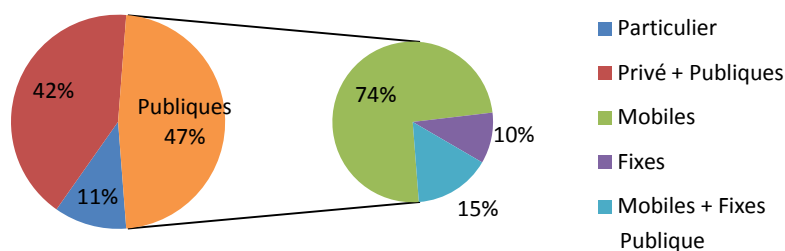


Figure 4: Pourcentage des personnes interrogées sur l'utilisation de TS privées, publiques, mobiles et fixes.

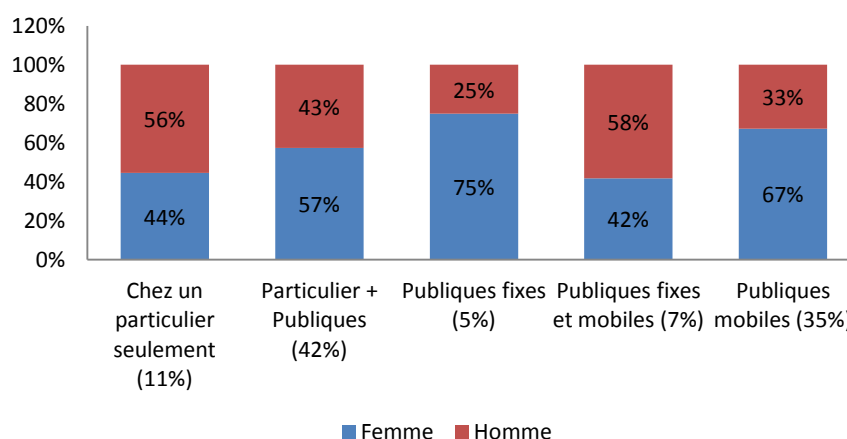


Figure 5: Le cadre de l'utilisation de TS (tableau croisé avec le sexe)

⁹ Chiffres de l'INSEE au 1^{er} janvier 2016

On remarque que pour plus des 2/3 des personnes ayant déjà utilisé une toilette publique (Figure 4), il s'agit d'une toilette sèche. C'est-à-dire que les TS sont assez largement distribuées en France, depuis la sortie d'une nouvelle réglementation¹⁰ en septembre 2009. L'installation d'ANC intégrant les TS est autorisée dans les dispositifs utilisables mais jusqu'à aujourd'hui, il demeure des problèmes d'utilisation, de gestion et des problèmes sanitaires.

Pour 47% des personnes ayant utilisé exclusivement des TS publiques, **celles-ci sont principalement des TS mobiles dans plus de 74% des cas** (et principalement chez femmes : 67% des cas). Dans une moindre mesure, 11% ont utilisé des TS uniquement chez des particuliers.

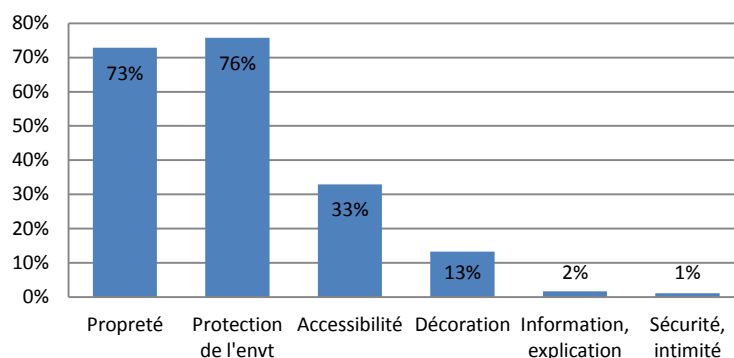


Figure 6: Les respects sur l'importance dans des toilettes sèches mobiles.

La Figure 6 confirme nos propos précédents. 76% et 73% personnes interrogées trouvent que la propreté et la protection de l'environnement sont les deux paramètres les plus importants lorsqu'ils utilisent des TS. La propreté est des TS est donc la première chose qui va être évaluée par les usagers. Les gens ont assez de connaissances et sont sensibles à la protection de l'environnement.

3.3.2 Satisfaction des utilisateurs

De manière générale on obtient un taux de 89% de personnes satisfaites de l'utilisation d'une TS. Les toilettes sèches gardent une image de protection de l'environnement et de propreté. L'image de propreté est probablement due à une forte implication des prestataires quant au nettoyage de leurs TSM. La Figure 7 croisée avec le sexe montre que majoritairement les femmes ne s'assoient pas sur la lunette (75% des cas). Selon nous, le fait de s'asseoir ou non est un signe de confiance en la propreté et l'hygiène des cabines, les femmes étant plus « exposées ».

¹⁰ Arrêté 09 septembre 2009

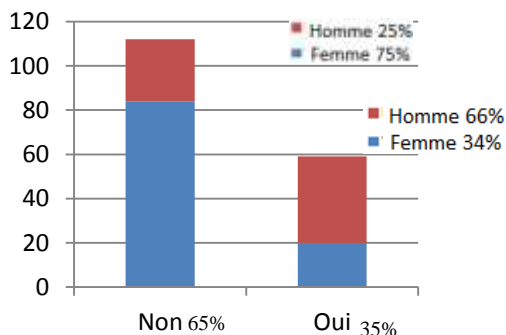


Figure 7: Pourcentage de personnes s’asseyant sur la lunette des toilettes publiques.

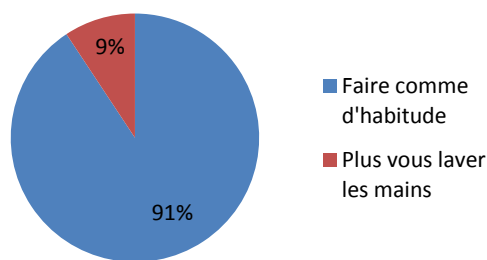


Figure 8: Lorsque vous sortez de Toilettes Sèches Mobiles, vous avez tendance à ...

Nous pouvons donc dire que la protection de l’environnement, la propreté et l’accessibilité des TS urbaines et mobiles sont importants pour les usagers. Il y a à ce sujet, un fort taux de satisfaction des usagers (Figure 8) de TS par rapport au service rendu (91%). Trois personnes interrogées sur cinq (65%) des répondants ne s’assoient pas sur la lunette (Figure 7), notamment les femmes (75%). Un blocage vis-à-vis des toilettes sèches est encore perceptible pour 9% des interviewés qui disent se laver plus les mains que d’habitude.

3.3.3 Impact sur la santé et l’environnement

47% des enquêtés trouvent qu’une TS est une toilette plus respectueuse de l’environnement. 29% des enquêtés trouvent que les usagers font plus attention que d’habitude à laisser le lieu propre. Mais il y a quand même 24% des personnes qui pensent qu’une TS est sale et qu’il y a aussi des problèmes d’odeur.

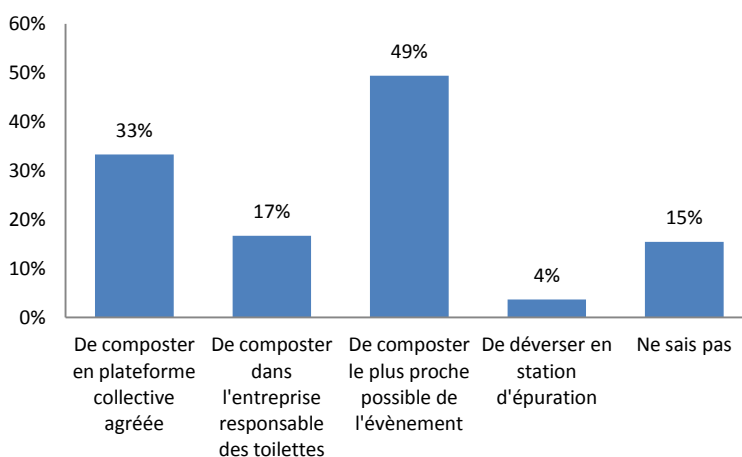


Figure 9: Selon vous, quelles seraient les voies pour limiter l’impact environnemental dans la gestion des litières ?

Afin de limiter l'impact environnemental dans la gestion des litières (Figure 9), presque la moitié (49%) des personnes pensent que composter le plus près possible de l'événement serait le plus opportun. Le compostage en plateformes collectives agréées serait également un gage de reconnaissance d'une pratique respectueuse de l'environnement pour 33% des personnes. On remarque quand même une méconnaissance de 15 % des personnes vis à vis de l'impact environnemental.

Sur le Figure 10, on constate que la cabine est estimée comme la source de risque sanitaire majoritaire (30% des cas) bien que les différents maillons de la filière soient régulièrement mentionnés (par 1 personne sur 5 en moyenne). Toutefois, 25% des personnes enquêtées ne savent pas définir d'où pourrait provenir un éventuel risque sanitaire.

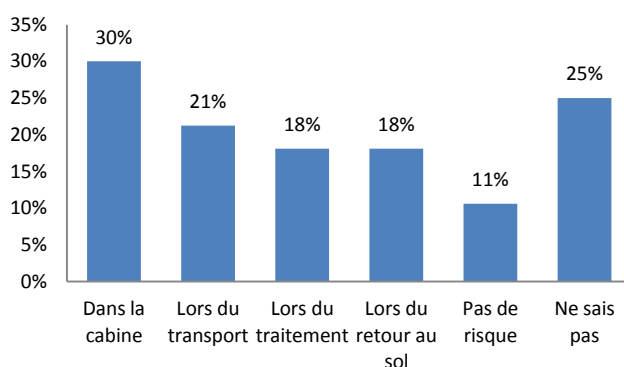


Figure 10: Pour vous, où sont les risques ?

3.4 Niveau de connaissance des particuliers sur les filières d'assainissement non collectif

Environ 57% des répondants pensent que :

- les litières de toilettes sèches mobiles sont transportées ailleurs pour leur traitement
- Le traitement se fait par compostage (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**)
- Il n'y a aucun risque sanitaire à manger des fruits / légumes ayant bénéficié d'un engrais / issu de toilettes sèches (Figure 12).

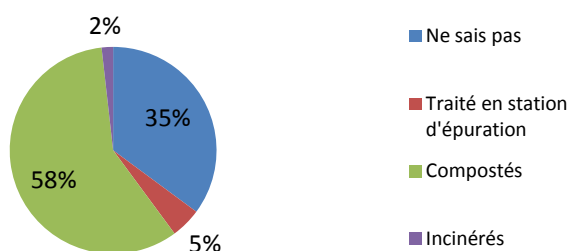


Figure 11: Comment sont traités vos excréments ?

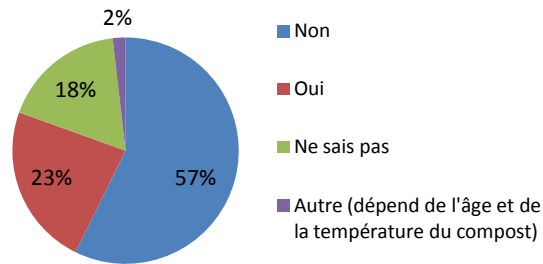


Figure 12: Manger des fruits/légumes dont les plants ont bénéficié d'engrais issus des toilettes, est-il dangereux pour la santé ?

30 à 35% des personnes interrogées ne connaissent pas du tout la filière de gestion de leurs excréments (ni transport, ni traitement).

Pour conclure, je pense que les connaissances du public sur la gestion des sous-produits de TS est encore très insuffisante. Il serait pertinent de travailler à développer les connaissances sur la gestion et le traitement de sous-produit issus de TS, Et plus généralement sur la gestion de l'assainissement, même quand il ne s'agit pas de toilettes sèches !

3.5 Conclusion

Nous avons aussi posé des questions sur la propreté et l'impact sanitaire des TS, « Est-ce que l'installation de TS à chez un particulier est vraiment pratique ? » est devenue une question récurrente pour nous. Si on installe une TS¹¹ chez nous, on se demande d'abord « est-ce que on doit changer mon habitude sur l'utilisation et la gestion de toilette ». Pour des toilettes normales, on n'a pas besoin d'acheter des matières carbonées (MC), on n'a pas de problèmes de balayage des sciures ou litières (des MC) lorsque les MC ont été mal versées. Comme Les jeunes habitent souvent dans un studio et que on n'a pas de jardin, comment gérer des sous-produits issus des TS ? Certain personne n'ont pas envie pas de porter des matières fécales dans ma voiture, ni de les transporter jusqu'au prestataire qui s'occupe de la valorisation des sous-produits. Ce sont des contraintes majeures lorsqu'on a des TS chez nous. Une TS particulière économise peut-être de l'eau et protège l'environnement, mais si on paye plus cher pour leur gestion et leur entretien, cela n'est plus ni intéressant ni rentable pour moi. Il existe pourtant des TS chez des particuliers qui sont très bien organisées. Ce sont des TS urbaines assez propres, sans odeur et sans contraintes d'utilisation particulières. C'est dommage que je n'aie pas eu d'occasion de les visiter. Il paraît en tout cas impératif d'intégrer, dans le déploiement de toilettes sèches urbaines, ces contraintes économiques et de praticité d'usage pour les particuliers.

Durant ce stage, j'ai un très bon souvenir des TS publiques. Les TS publiques que j'ai visitées sont très bien organisées, propres, agréables à utiliser et n'ont pas de mauvaises odeurs comme cette TS

¹¹ Toilettes Sèches Urbaines

d'une entreprise, où la lumière située au-dessous de siège, ne permet pas de voir à l'intérieur de la cuve de stockage¹².

L'utilisation de TS est un bon sens pour l'écologie et la protection de l'environnement, mais il y a encore des difficultés sur leur installation en ville, notamment chez les particuliers, lorsqu'on manque de service complet sur la filière de vidange, l'entretien et la valorisation.

Afin de compléter des services sur des filières de la gestion des sous-produits issus de TS, nous avons également besoin de réglementations pour encadrer les pratiques. Une synthèse bibliographique des réglementations sur la gestion des sous-produits de Toilettes Sèches dans le monde a été faite pour cette raison durant mon stage.

4 Synthèse bibliographique des réglementations sur la gestion des sous-produits de Toilettes Sèches dans le monde

4.1 Objectif

Si l'on consulte la littérature réglementaire française actuelle sur la gestion des sous-produits issus de Toilettes Sèches (TS), on trouve peu de références sur les installations, le stockage, et surtout le transport de ces matières.

L'étude bibliographique que nous proposons est donc réalisée afin de synthétiser les textes existants et procéder à des recommandations basées sur des filières de gestion des sous-produits développées à l'étranger. C'est dans ce cadre que nous allons synthétiser les textes réglementaires afin de proposer des recommandations basées sur des divers retours d'expériences.

Les objectifs de cette synthèse bibliographique sont les suivants :

- Recommander un cadre référentiel de textes réglementaires de France et de l'étranger sur la gestion des sous-produits de TS ;
- Identifier des expériences à succès dans la bibliographie sur lesquelles s'appuyer pour proposer des recommandations (notamment sur le transport des matières fécales issus des TS);

Nous avons donc étudié des lois, des réglementations et la littérature existante en France et dans d'autres pays, notamment en Suède et au Canada, du fait d'une technique et d'une réglementation avancées et plus complète.

¹² On ne voit pas les matières fécales et l'urine.

4.2 Difficulté de l'étude bibliographique

La difficulté de ce travail réside dans l'exhaustivité de la collecte de données. Effectivement, il a été très difficile de identifier les textes qui pourraient mentionner les filières de gestion des excréta ; de accéder à ces textes ; de ouvrir notre recherche aux pays autres que francophones ou anglo-saxons.

Ainsi, nous convenons que la recherche n'est pas exhaustive mais que sur les 10 pays faisant l'objet de références dans le présent document ajoutés aux 11 autres pays d'intervention connus de TDM, ce sont un total de 21 pays (+/-10 % des pays de la planète) qui ont été consultés et qui ne présentent que (très) peu de référence réglementaire en matière de gestion des excréta. (voire annexe 5 et 6)

4.3 Analyse des réglementations en France

Durant mon stage, j'ai étudié plusieurs réglementations et des rapports liée à notre étude. Parmi ces documents, certains sont en lien avec notre étude.

- **Arrêté du 7 septembre 2009 (7)**

Il fixe les prescriptions techniques applicables aux installations d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 1,2 kg/j de DBO₅ (20 E.H¹³).

Cet arrêté consacre son **article 17** aux TS. Le texte précise les conditions de mise en œuvre liée à l'installation des dispositifs et à la gestion des sous-produits liquide et solide issus de TS. Il précise également le traitement et la valorisation des sous-produits.

- **Arrêté du 9 septembre 1997 (8)**

Arrêté relatif aux installations de stockage de déchets non dangereux. Cette norme autorise un site permanent (> 1an) pour stocker temporairement des déchets non dangereux avant valorisation ou traitement. Les prescriptions techniques disposent que le teneur en DBO₅ doit être inférieure à 100mg/l (le flux journalier < 30kg/l).

- **Concernant les zones d'Assainissement Collectif (AC)**

Il existe une jurisprudence depuis le 19 avril 2011 et publiée au Journal Officiel¹⁴ : «ce type d'installation est autorisé, y compris dans les zones d'assainissement collectif».

- **Normes NFU 44-095 et NFU 44-051**

Ces deux normes encadrent le compostage de matières d'intérêt agronomique issues du traitement des eaux et les amendements organiques comportant les fumiers et déjections animales avec ou

¹³ EH : Équivalents Habitant

¹⁴ <http://questions.assemblee-nationale.fr/q13/13-73941QE.htm>

sans litières et avec ou sans compostage. **Tous nos résultats d'analyse¹⁵ respectent ces deux normes.**

- **Règlement sanitaire départemental d'Ille et Vilaine, 1997**

L'Ille et Vilaine est l'un des quatre départements de la région Bretagne. Dans ce règlement, l'art.142, indique précisément que le dépôt des vidanges et des matières fécales est **interdit** sur tous les terrains où sont cultivés des fruits et légumes. Pour les fumiers, les engrais organiques ne doivent être épandus moins d'un mois avant la récolte.

Son art.155 est liée à l'évacuation et au stockage des fumiers et autres déjections solides mais ce sont des déjections d'animaux. **Cela ne peut pas s'expliquer à la filière de la gestion des matières fécales humaines.** Même problème sur l'art.159 (partie épandage).

Par contre, dans l'art. 159.1 qui est lié à l'installation de fosses septiques, il est spécifié qu'une installation de fosse septique est interdite à moins de 35 mètres :

- des puits et forages ;
- des berges des cours d'eau ;
- des aqueducs transitant des eaux potables.

Ce règlement parle surtout le fumier, mais pas des sous-produits issus de TS. Nous ne pouvons pas suivre ce règlement, mais il peut être utilisé comme une référence.

- **Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE)**

Selon la liste de codification des déchets (9) (Annexe II de l'article R. 541-8 du CE), le code qui se rapproche le plus des matières de TS est le suivant n°02 01 06¹⁶ à savoir :

02 : Déchets provenant de l'agriculture, de l'horticulture, de l'aquaculture, de la sylviculture, de la chasse et de la pêche ainsi que de la préparation et de la transformation des aliments

01 : Déchets provenant de l'agriculture, de l'horticulture, de l'aquaculture, de la sylviculture, de la chasse et de la pêche.

06 : Fèces, urine et fumier (y compris paille souillée), effluents, collectés séparément et traités hors site.

Cependant, les deux premiers niveaux de codification ne correspondent pas. En prenant la stratégie inverse qui serait de faire correspondre les premiers niveaux de codification nous pouvons proposer :

- N°16. Déchets non décrits ailleurs dans la liste. Il n'existe pas de second niveau de codification pertinent.

¹⁵Caractéristique physico-chimique, microbiologique, agronomique.

¹⁶ La rubrique n°02 01 06 : fèces, urine et fumier (y compris paille souillée), effluents, collectés séparément et traités hors site.

- N°19. Déchets provenant des installations de gestion des déchets, des stations d'épuration des eaux usées hors site et de la préparation d'eau destinée à la consommation humaine et d'eau à usage industriel. De la même manière que pour le code 16, il n'existe pas de second niveau de codification pertinent. Toutefois, en corrélation avec la filière 4 suivie dans le cadre de l'étude (compostage des matières en plateforme collective) le code 19 08 05 : « Boues provenant du traitement des eaux usées urbaines » pourrait s'apparenter aux matières excréta + matière carbonée. Une analogie de leurs caractérisations respectives doit être réalisée.

On note ici que les déchets verts utilisés pour le compostage dans le cadre de l'étude ont le code n°20 02¹⁷.

La rubrique 27 80¹⁸ de l'ICPE, considère que dans le cadre du compostage de fraction fermentescible de déchets triés à la source ou sur site, seuls ou en mélange avec des déchets admis dans une installation relevant de la rubrique 2780 -1, la quantité de matières traitées étant supérieure ou égale à 2 t/j et inférieure à 20 t/j doit être déclaré au préfecture.

En conclusion, nous ne sommes pas dans ce cas, car Les quantités journalières moyennes produites par les prestataires sont faibles. Nous pouvons donc dire que nos activités sur la collecte des sous-produits de TS **ne suivent pas la réglementation ICPE, sauf si l'on était dans le cas de TS Urbaines et on se met à collecter plus de 2t/j de matières.**

4.4 Conclusion

Sur l'ensemble des réglementations existantes en France, la gestion de TS est mal définie. Par exemple, plusieurs réglementations parlent de « déjections d'animaux » et d'« eaux ménagères », ces réglementations sont insuffisantes et peu adaptées à la gestion des TS.

Le TS est considéré comme un système d'Assainissement Non Collectif(ANC), il est donc obligé de respecté la loi sur l'installation et la contrôle du système d'ANC . Le ministère de l'Ecologie, de l'Energie et du Développement durable précise qu'une installation d'ANC sera contrôlée par la commune conformément à l'arrêté du 7 septembre 2009. Mais il n'a pas une loi qui fixe les conditions pour l'installation de TS (ex : le dimensionnement, le vidange et le transporté des sous-produits)

Les valeurs retenues dans l'analyse ont été comparées aux paramètres suivants relatifs à la caractérisation des sous-produits:

	Paramètres suivis	Unité	Code d'analyse	NFU 42_001 (10)	EcoSanRes (11)
Essais environnementaux	Paramètre physico-chimie	pH	NF EN ISO 10523		proche 9

¹⁷ La rubrique 20 02: déchets de jardins et de parcs (y compris les déchets de cimetièrè).

¹⁸ La rubrique créée par le Décret n°2009-1341 du 29 octobre 2009 et modifiée par le Décret n°2012-384 du 20 mars 2012 et par le rectificatif au JO n°122 du 26 mai 2012.

		MES	mg/l	NF EN 872		
	Matières organiques	DBO5	mg/l	NF EN 1899-1		
		DCO	mg/l	NFT 90101		
	Azote	Nitrites NO ₂ ⁻	mg/l	NF EN ISO 13395		
		Nitrates NO ₃ ⁻	mg/l	NF EN ISO 10304-1		
		Azote ammoniacal NH ₄ ⁺	mg/l	NFT 90-015-1		
		Azote Kjeldahl NTK	mg/l	NF EN 25663	> 3%	≈ 5 g/l ¹⁹
	Minéralisation	Potassium K ₂ O		NF EN ISO 11885	> 3%	≈ 1,5 g/l
	Phosphore	Phosphates PO ₄ ³⁻	mg/l	NF EN ISO 10304-1		
		Phosphore total PT		NF EN ISO 11885	> 3%	≈ 0,5 g/l
Essais microbiologique	Parasitologie de l'environnement	Œufs d'helminthes parasites /1,5g M.S.		FD X33-040	Absence dans 1,5 g MB (toutes cultures)	
		Œufs d'helminthes parasites viables /1,5g M.S.		FD X33-040		
	Bactériologie alimentaire	Salmonelles/25g		NF EN ISO 6579	Absence dans 1 g MB (sauf cultures maraîchères) Absence dans 25 g MB (culture maraîchères)	
		Entérocoques intestinaux	UFC/g	Méthode interne ISAE (Slanetz-BEA)	10000/g M.B.	
		Escherichia coli	UFC/g	NF ISO 16649-1-V08-031 juillet 2001	100/g M.B.	

Tableau 1: Les paramètres suivis pour F1 et F2

Paramètres suivis		Unit é	Code d'analyse	NFU44_051	NFU 44_095
Essais environnementaux	pH		NF EN ISO 10523	-	-
	MS	mg/l	NF EN 12880	≥ 30 % M.B.	≥ 50% M.B.
	Humidité	%	Calcul	≤70% M.B.	≤ 50% M.B.
	Carbone		NF ISO 14235	-	<17%

¹⁹ Valeur des éléments nutritifs d'un bidon d'urine (20L) au Burkina Faso

	Rapport C/N		Calcul	> 8	proche 10	
	Matières organiques	mg/l	NF EN 13039	$\geq 20\%$ ²⁰ M.B	$\geq 20\%$ ²¹ M.B. $\geq 30\%$ sur MS	
	NTK	mg/l	NF EN 25663	<3%	<3%	
	K ₂ O	mg/l	NF EN ISO 11885	<3%	<3%	
	Phosphore total	mg/l	NF EN ISO 10304-1	<3% ²²	<3%	
Essais microbiologique	Parasitologie de l'environnement	Œufs d'helminthes parasites /1,5g M.S.		FD X33-040	Absence dans 1,5 g M.B.	Absence dans 1g de M.B.* (Absence dans 25g de M.B.**)
		Œufs d'helminthes parasites viables /1,5g M.S.		FD X33-040	Absence dans 1,5 g M.B.	Absence dans 1g de M.B.* Absence dans 25g de M.B.**
	Bactériologie alimentaire	Salmonelles/25g		NF EN ISO 6579	Absence dans 1 g M.B.* Absence dans 25 g M.B.**	Absence dans 1g de M.B.* Absence dans 25g de M.B.**
		Entérocoques intestinaux	UFC/g	Méthode interne ISAE (Slanetz-BEA)	10^4 /g M.B.	10^5 /g M.B.
		Anaérobies sulfitoréducteurs à 37°C	UFC/g	NF EN ISO 7937	-	-
		Escherichia coli	UFC/g	NF ISO 16649-1-V08-031 juillet 2001	10^2 /g MB	10^4 /g M.B.* (10^3 /g M.B.**)
		Clostridium perfringens	UFC/g	NF EN ISO 7937	-	10^3 /g M.B.* (10^2 /g M.B.**)
		Clostridium perfringens: identification	Spor e/g	NF EN ISO 7937	-	-
		Spore de bactéries ASR à 37°C	Spor e/g	NF EN ISO 7937	-	-
	Essais de virologie	Détection du HAV Identification			-	-

Tableau 2: Les paramètres suivis pour F3 et F4

5 Caractérisation des sous-produits issus des Toilettes Sèches

Nous avons fait une étude sur l'évaluation du compost de 6 festivals en France afin d'améliorer l'efficacité de la valorisation de l'urine et excréta issus de TS par le compostage. Les événements suivis (E1 à E6) dans le cadre de l'étude se sont déroulés de juillet à septembre 2015 Les 4

²⁰ MO stable = C organique stable *2 où C organique stable = C organique – C minéralisé

²¹ MO stable = C organique stable *2 où C organique stable = C organique – C minéralisé

²² La somme N+P₂O₅+K₂O doit être inférieur à 7 % de la matière brute

prestataires différents interviennent sur ces évènements. À la demande de ces prestataires et des organisateurs d'évènements, leurs noms n'apparaissent pas dans ce rapport et sont remplacés par des codes (L1 à L4).

Selon la taille de l'évènement, nous les avons classés en 3 catégories :

- Soft: les évènements familiaux plutôt en journée (vide grenier, foire, sport) ;
- Medium : les concerts de soirée de taille petite à moyenne ;
- Hard : les gros évènements musicaux avec fort débit de boisson.

5.1 Les évènements, prestataires et filières suivies

5.1.1 Définitions et gestions des filières

Les quatre filières identifiées comme représentant la majorité des pratiques sont les suivantes :

- F1 : Urine pure
- F2 : Urine + litière²³
- F3 : Excrétas+litière traités sur plateforme de compostage individuelle (du prestataire)
- F4 : Excrétas+litière traités sur plateforme de compostage collective (privée)

	Avantages	Inconvénients	Contenant (stockage)	Option de traitement	Valorisation
F1	<ul style="list-style-type: none"> - Collecte unitaire - Facilité de manutention - Valeur agronomique de la matière collectée 	<ul style="list-style-type: none"> - Mise en place de la cuve de collecte en gravitaire ou pompage - Possibilité d'odeur 	Cuve IBC 1m ³	Pas besoin de traitement	Epannage sur culture non alimentaire
F2	<ul style="list-style-type: none"> - Confort des usagers - Moins d'odeur grâce des MC 	<ul style="list-style-type: none"> - Le coût des MC - Gestion d'un produit diphasique (liquide - solide) - Besoin de personnel de manutention - Le tri est compliqué 	Bidon 200L	Tri manuelle (enlever des matières grosses), puis mélange avec F3	Rejoint F3
F3	<ul style="list-style-type: none"> - Pour la gestion des petits volumes 		Poubelle plastique 80 L avec couvercle ou cuve IBC	Compostage pendant 1 et 2 ans	Epannage sur culture non alimentaire
F4	<ul style="list-style-type: none"> - Meilleure couverture territoriale (limite les coûts de transport) 	<ul style="list-style-type: none"> - Acceptation des matières difficile pour les plateformes publiques 	Poubelle plastique 80 L avec couvercle ou cuve IBC	Compostage pendant 1 et 2 ans	Epannage sur culture

Tableau 3: Tableau synthétique par filière

²³ Litières utilisés pour la collection de l'urine, ils peuvent être des sciures, du copeau industriel dépoussiéré.

Sur l'ensemble des collectés de F1, l'urine a été d'abord stocké pour un durée de 3 à 6 mois afin de diminuer la concentration de pathogène. L'urine de F2 est rejoint à F3 après la collecté.

Sur l'ensemble des plateformes de compostage (F3 et F4) les matières issues des évènements sont diluées lors de l'ajout de déchets verts. Le facteur de dilution est beaucoup plus important concernant les plateformes de compostage collectives (F4), de l'ordre de 10 à 15. Dans les analyses notamment microbiologiques le facteur de dilution de la filière F4 par rapport à la F3 est à prendre en considération.

	Des déchets organiques de l'évènement sont-ils gérés par le prestataire?	Estimation du volume de déchets organiques de l'évènement?	Volume de matière mis en compostage sur la totalité de l'évènement	Type de déchet vert et volume	Sur plateforme de compostage : ratio déchets verts /matières des toilettes sèches
E1	Non		5.6 m ³	Paille 15 m ³	2,7/1
E2	Non		9.6 m ³	Litière de volaille 150 m ³	14,4/1
E3	Non		0.8 m ³		
E4	Oui, épluchures et restes de cuisine	100L	3.2 m ³	Paille 15 m ³	4,7/1
E5	Non		1.5 m ³	Déchets de potager 3 m ³	2/1
E6	Oui, épluchures et restes de cuisine et la vaisselle composable	1 à 3m3	9.3 m ³	Déchets verts communaux (taille) 120 m ³	12,9/1

Tableau 4:Flux des déchets

5.1.2 Présentation des évènements et les prestataires

Les TS et leur sous-produits de 6 festivals qu'on a étudiés ont été s'occupé par 4 prestataires (L1 à L4), le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** est un schéma qui présent les filières de la gestion des sous-produits issus de TS par ces 4 prestataires.

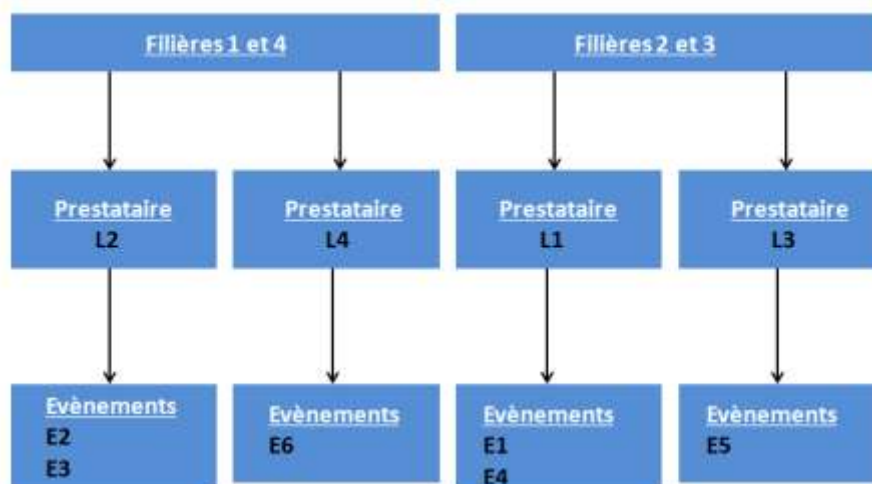


Figure 13: Identification des festivals et prestataires de l'étude

Sur les 6 événements de l'étude, on observe une grande diversité de pratique, qui est liée à :

- La diversité des configurations des événements : il y a des sites ouverts (E3, E4, E5), ou avec accès contrôlé (E1, E2, E6), présence d'un camping (E2 et E6) ou pas ; type de public (familiale, personnes agréées, jeunes, etc.) ; type de consommation (repas ou non,...), durée des événements ; présence d'autres toilettes sur le site ou d'autres possibilité de se soulager...
- La diversité des modes opératoires des prestataires. Ceux ayant recours à des bénévoles (de l'organisation de l'évènement ou de l'association prestataire) peuvent se permettre de mobiliser plus de personne à l'entretien et à la sensibilisation que ceux ayant recours au salariat.

Code	Jauge soirée	Nbre urinoir	Nbre cabine	Nbre soirée	Nbre de personnel	Filière
E1	6000	14	13	3	5	F2, F3
E2	9000	31	40	2	11	F1, F4
E3	3000	4	6	1	2	F1, F4
E4	600	7	5	3	2	F2, F3
E5	1500	6	5	4	3	F2, F3
E6	10000	16	25 dont 2 PMR	3	10	F1, F4

Tableau 5: Les caractéristiques des collectes de 6 événements

Evènement	F1	F2	F3	F4	Matière total (m ³)	Matière Carbonée (m ³)	Déchets Verts utilisés (m ³)	Nbr soirée	Matière + DV (m ³)
E1	-	1,2	1,6	-	14,4	2	3	3	57,6
E2	2,2	-	-	3,2	15,8	2,5	14	2	237
E3	0,4	-	-	0,8	1,7	0,5	14	1	25,5
E4	-	0,8	1,6	-	11,7	1,5	3	3	46,8
E5	-	0,7	0,7	0	9,6	1	2	4	28,8
E6	1	-	-	3,5	13,5	10	12	3	175,5
Total	3,6	2,7	3,9	7,5	66,7	17,5	48	16	571,2

Tableau 6: Volumes des matières collectés et des Déchets Verts utilisés²⁴

5.2 Les paramètres suivis pour la caractérisation des sous-produits issus de TS

Paramètres suivis		Unité	Code d'analyse	NFU 42_001 (10)	EcoSanRes (11)	
Essais environnementaux	Paramètre physico-chimie	pH		NF EN ISO 10523		proche 9
		MES	mg/l	NF EN 872		
	Matières organiques	DBO5	mg/l	NF EN 1899-1		
		DCO	mg/l	NFT 90101		
	Azote	Nitrites NO ₂ ⁻	mg/l	NF EN ISO 13395		
		Nitrates NO ₃ ⁻	mg/l	NF EN ISO 10304-1		
		Azote ammoniacal NH ₄ ⁺	mg/l	NFT 90-015-1		
		Azote Kjeldahl NTK	mg/l	NF EN 25663	> 3%	≈ 5 g/l ²⁵
	Minéralisation	Potassium K ₂ O		NF EN ISO 11885	> 3%	≈ 1,5 g/l
	Phosphore	Phosphates PO ₄ ³⁻	mg/l	NF EN ISO 10304-1		
Phosphore total PT			NF EN ISO 11885	> 3%	≈ 0,5 g/l	
Essais microbiologiques	Parasitologie de l'environnement	Œufs d'helminthes parasites /1,5g M.S.		FD X33-040	Absence dans 1,5 g MB (toutes cultures)	

²⁴ Pour savoir des caractérisés de DV, voir l'annexe 7 de ce rapport.

²⁵ Valeur des éléments nutritifs d'un bidon d'urine (20L) au Burkina Faso

		Œufs d'helminthes parasites viables /1,5g M.S.		FD X33-040	
Bactériologie alimentaire		Salmonelles/25g		NF EN ISO 6579	Absence dans 1 g MB (sauf cultures maraîchères) Absence dans 25 g MB (culture maraîchères)
		Entérocoques intestinaux	UFC/g	Méthode interne ISAE (Slanetz-BEA)	10000/g M.B.
		Escherichia coli	UFC/g	NF ISO 16649-1-V08-031 juillet 2001	100/g M.B.

Tableau 7: Les paramètres suivis pour F1 et F2

Paramètres suivis		Unité	Code d'analyse	NFU44_051	NFU 44_095	
Essais environnementaux	pH		NF EN ISO 10523	-	-	
	MS	mg/l	NF EN 12880	≥ 30 % M.B.	≥ 50% M.B.	
	Humidité	%	Calcul	≤70% M.B.	≤ 50% M.B.	
	Carbone		NF ISO 14235	-	<17%	
	Rapport C/N		Calcul	> 8	proche 10	
	Matières organiques	mg/l	NF EN 13039	≥ 20% ²⁶ M.B	≥ 20% ²⁷ M.B. ≥ 30% sur MS	
	NTK	mg/l	NF EN 25663	<3%	<3%	
	K ₂ O	mg/l	NF EN ISO 11885	<3%	<3%	
	Phosphore total	mg/l	NF EN ISO 10304-1	<3% ²⁸	<3%	
Essais microbiologique	Parasitologie de l'environnement	Œufs d'helminthes parasites /1,5g M.S.		FD X33-040	Absence dans 1,5 g M.B.	Absence dans 1g de M.B.* (Absence dans 25g de M.B.**)
		Œufs d'helminthes parasites viables /1,5g M.S.		FD X33-040	Absence dans 1,5 g M.B.	Absence dans 1g de M.B.* Absence dans 25g de M.B.**
	Bactériologie alimentaire	Salmonelles/25g		NF EN ISO 6579	Absence dans 1 g M.B.* Absence dans 25 g M.B.**	Absence dans 1g de M.B.* Absence dans 25g de M.B.**
		Entérocoques intestinaux	UFC/g	Méthode interne ISAE (Slanetz-BEA)	10 ⁴ /g M.B.	10 ⁵ /g M.B.

²⁶ MO stable = C organique stable *2 où C organique stable = C organique – C minéralisé

²⁷ MO stable = C organique stable *2 où C organique stable = C organique – C minéralisé

²⁸ La somme N+P₂O₅+K₂O doit être inférieur à 7 % de la matière brute

	Anaérobies sulfitoréducteurs à 37°C	UFC/g	NF EN ISO 7937	-	-
	Escherichia coli	UFC/g	NF ISO 16649-1-V08-031 juillet 2001	10 ² /g MB	10 ⁴ /g M.B.* (10 ³ /g M.B.**)
	Clostridium perfringens	UFC/g	NF EN ISO 7937	-	10 ³ /g M.B.* (10 ² /g M.B.**)
	Clostridium perfringens: identification	Spor e/g	NF EN ISO 7937	-	-
	Spore de bactéries ASR à 37°C	Spor e/g	NF EN ISO 7937	-	-
Essais de virologie	Détection du HAV Identification			-	-

Tableau 8: Les paramètres suivis pour F3 et F4

5.3 Analyse sur les phases liquide (F1 et F2)

5.3.1 Caractéristiques physico-chimiques et microbiologique sur F1 et F2

- pH

Le pH de l'urine peut être un indicateur d'hygiénisation. Le pH d'une urine fraîche est entre 4,6 et 8 tandis qu'un pH d'urine stockée est nécessairement basique (aux environs de 9). On s'aperçoit que le pH devient vite stable et basique, ce qui favorise l'élimination de germes fécaux éventuellement présents dans leurs urines s'il y a eu contamination (ex : E.coli et ARS)

Le pH peut être influencé par la teneur en ammoniac présente dans l'urine. L'urine de F1 ne contient pas du tout de matière organique et celle de F2 un peu (contact avec de la matière carbonée avant filtration). Le pH de l'urine fraîche monte durant la phase de stockage. C'est la phase de dégradation qui est accélérée par la matière organique.

Sur Figure 14, on voit bien que les pH, au moment de la collecte, pour E1, E2 et E5 sont déjà égaux ou supérieurs à 9. Il est possible que le temps de stockage des urines avant analyse (12 à 72h) dans des bidons (ayant contenu des traces de matières organiques) a permis à celles-ci de se dégrader et d'engendrer un changement de pH.

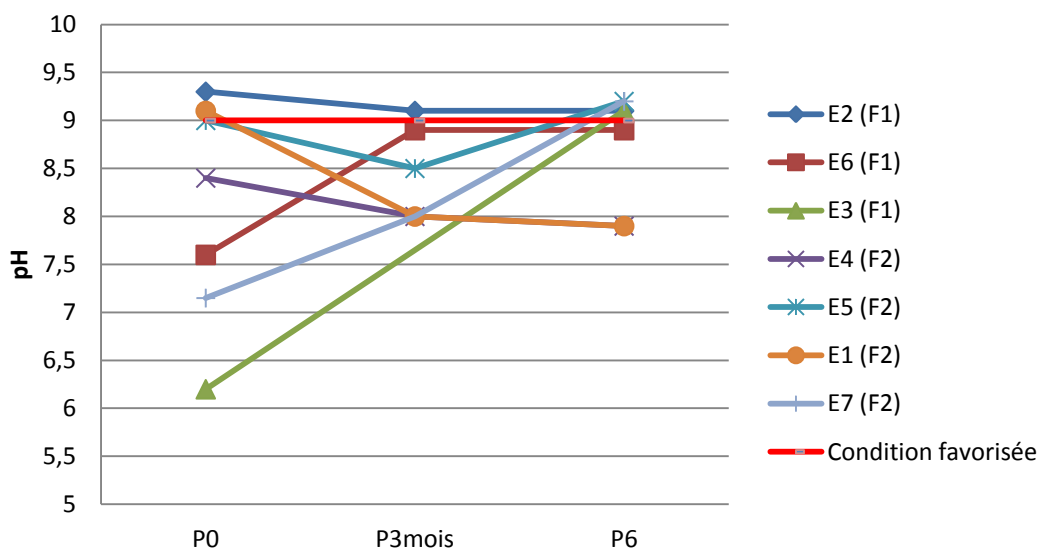


Figure 14: Comparaison de l'évolution du pH de l'urine (F1 et F2)

Les pH deviennent très rapidement basiques après la collecte créant ainsi rapidement un milieu défavorable au développement des pathogènes.

- **Matières en suspensions (MES)**

La notion de MES désigne l'ensemble des matières solides fines et insolubles (de nature organique ou minérale) dans un liquide. Leur principal effet est de troubler l'urine, diminuant le rayonnement lumineux indispensable pour une bonne croissance des bactéries en charge de la transformation de l'azote.

Lorsque F1 et F2 ne contiennent pas la même quantité de litière, nous les distinguons donc séparément. L'urine de F2 est collectée dans un bidon contenant des litières, cela peut augmenter la teneur en MES au moment de P₀.

Les MES des deux filières connaissent une tendance à la diminution au bout de 6 mois. Cela aurait tendance à montrer que le pouvoir de la biodégradation de MES par des micro-organismes est efficace. Cependant, cette analyse est à mitiger du fait du facteur de décantation et du phénomène de stratification verticale dans les cuves malgré une homogénéisation préalable à chaque prélèvement. Le prélèvement de l'échantillon joue un rôle trop important pour ce paramètre. Dans ce cadre, il est difficile d'apporter une conclusion sur ce paramètre.

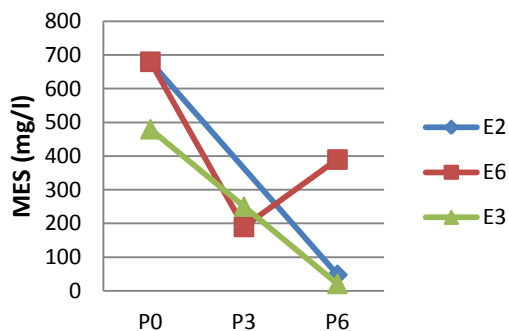


Figure 15: L'évolution des Matières en Suspension (F1)

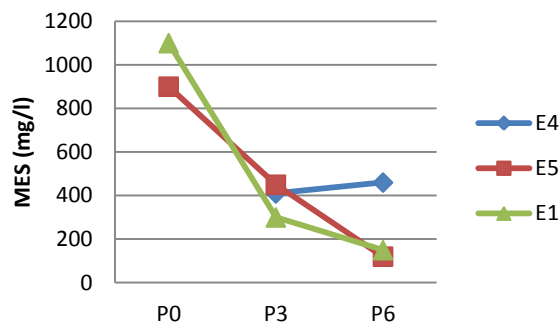


Figure 16: L'évolution des Matières en Suspension (F2)

- **Matières Organiques (MO)**

La Demande Chimique en Oxygène (DCO) constitue une mesure globale de la Matière Organique (MO) présente dans les urines. La Demande Biologique en Oxygène (DBO₅) prend en compte les MO biodégradables. Le pouvoir de la biodégradation de MO dépend donc du ratio de ces deux paramètres. Si le ratio DCO/DBO₅ est inférieur à 3 (idéal entre 1,5 et 2), on peut dire que l'effluent est facilement biodégradable (12).

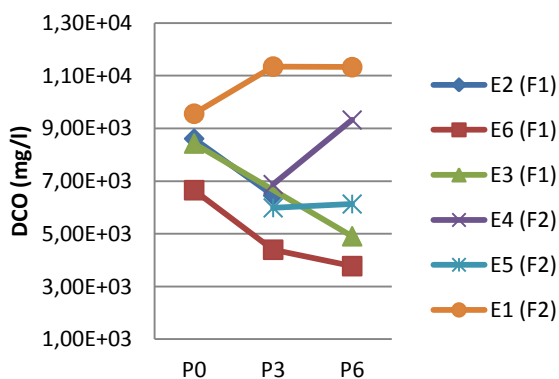


Figure 17: L'évolution de la DCO (F1 et F2)

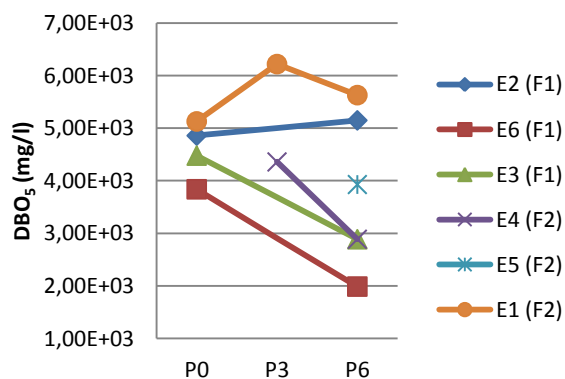


Figure 18: L'évolution de la DBO₅ (F1 et F2)

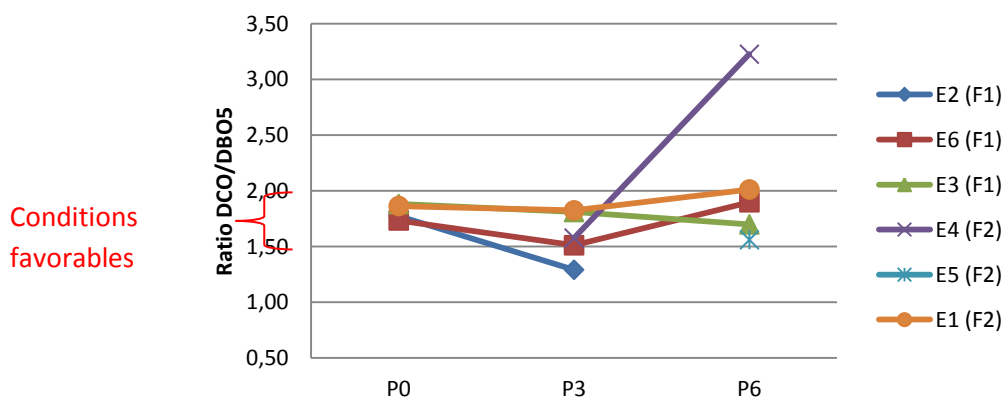


Figure 19: L'évolution du ratio DCO/DBO₅

Pour la DCO à ces teneurs, l'incertitude de mesure est de 10%, les tendances sont donc confirmées pour la Figure 17, il est plutôt à la baisse pour F2 et à l'augmentation pour F1.

Pour la DBO₅, à ces teneurs, l'incertitude de mesure est de 25% (incertitude importante compte tenu de la méthode basée sur la consommation d'oxygène par les bactéries), donc en appliquant les incertitudes, on est dans le même ordre de grandeur de la DBO₅. Aucune tendance n'est décelable.

À l'exception d'un point « bizarre » sur E4, le ratio DCO/DBO₅ est compris entre 1,5 et 2 et ne varie quasiment pas avec le temps. Les urines pures (F1) et urines + matières carbonées (F2) ne se biodégradent pas sur les 6 mois de mesure.

Pour mieux apprécier l'efficacité de la biodégradation de l'urine, nous avons extrait de la synthèse bibliographique (13) commandé par l'ONEMA²⁹ un tableau de différentes moyennes de ratios DCO/DBO pour de l'urine. Les bactéries qui participent à la dégradation ont besoin d'un équilibre nutritionnel pour leur développement. Cet équilibre est illustré par un rapport DBO₅:N:P de 100 :5 :1 nécessaire au traitement biologique.

- Azote

L'azote sous forme d'urée (CH₄N₂O) représente environ 85% de l'urine fraîche tandis qu'environ 5% est de l'ammoniac. Mais dans l'urine stockée, l'ammoniac représente 90% de l'azote en raison de la dégradation de l'urée durant le stockage. Comme l'ammoniac est volatile, on peut donc penser que des pertes peuvent se produire pendant le stockage, si le bidon de l'urine est mal fermé. Ces pertes non seulement diminuent l'efficacité de la récupération de l'azote, mais volatilisé, l'ammoniac peut aussi avoir des effets négatifs sur l'environnement et la santé humaine (14). Elle cause des problèmes d'odeurs considérables.

Dans notre étude, l'urine récupérée a d'abord traversé un tuyau, puis a été introduite dans un bidon de 200 L (ou cuve IBC). Cela pourrait entraîner une perte quantitative en P et N. Une expérience (15) a été réalisée en Allemagne pour confirmer cette hypothèse. Une solution d'ammoniac a été laissée à travers un égout droit de 2000 m de longueur, 0,9 m de diamètre et une pente de 0,09% en moyenne. Le débit d'eau est de 20 L/s et la température de l'eau à 15°C. Le résultat de cette expérience a montré que la perte maximale de l'ammoniac dans ces conditions et à un pH à 9 serait de 2% par heure. Ça veut dire qu'après contact avec l'air, pendant certain temps, la dissolution d'ammoniac dans l'urine peut être faible. Si on regarde notre étude, l'urine reste en contact avec l'air pendant la collecte (pendant les festivals), cela veut dire que l'urine est en contact avec l'air durant au moins de 7 heures (les festivals ont souvent commencé à 17:30 finissent à 1:30 ou 2:00 du matin), cela correspond déjà une grande quantité de perte. Selon une expérience, nous pouvons faire un traitement préliminaire de l'urine séparée à la source afin d'empêcher la volatilisation de NH₄⁺, c'est à dire transformer l'ammoniac en composé azoté non volatile, par exemple: nitrate.

²⁹ ONEMA : Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques

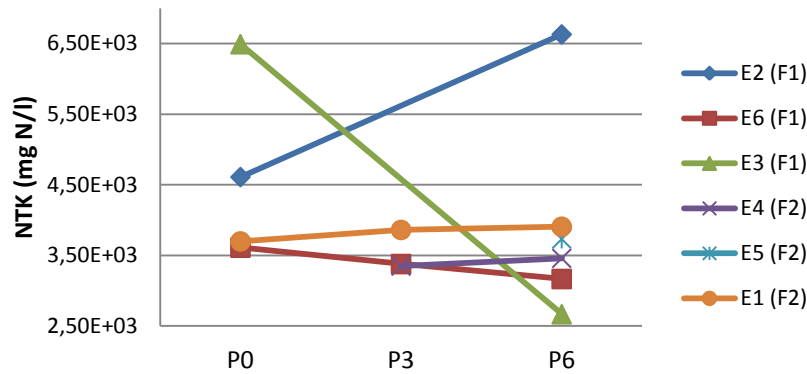


Figure 20: L'évolution de NTK de F1 et F2

L'azote est présent à un niveau normal (selon la littérature) de concentration dans les urines (NTK de 3,5 à 6,5 g/L). L'évolution de la concentration en azote réduit au cours du stockage est stable. Seul E3 et dans une moindre mesure, E6 montrent une diminution de l'azote réduit ce qui montrerait pour les autres événements d'assez faibles pertes azotées. L'augmentation de l'azote réduit pour E2 est étrange et n'a pas pu être interprétée. Il est noté que sur les deux événements E3 et E6 les bidons de stockage fermés n'étaient pas saturés en urine (il reste de l'espace avec de l'air). Il est probable que l'azote ait été immédiatement biodégradé par aération en traversant les tuyaux des urinoirs. L'urine est restée à l'air libre durant la soirée, ce qui a pu être aussi un facteur d'accélération de la biodégradation de l'azote.

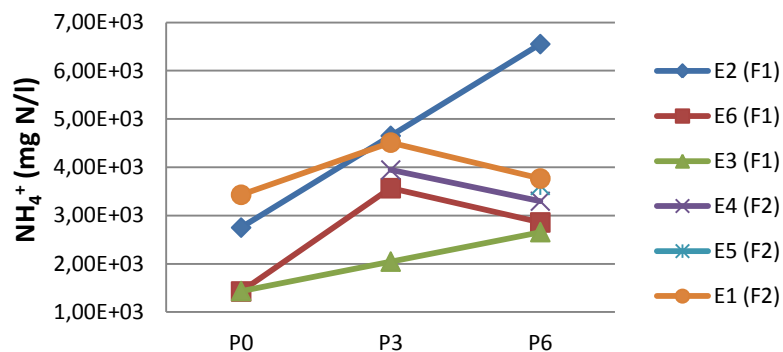


Figure 21: L'évolution de NH_4^+ de F1 et F2

On constate la dégradation de l'urée en notant l'augmentation des teneurs en NH_4^+ dans les urines analysées. Seuls E3 et E6 ont été analysés avec des urines vraiment très fraîches (pas encore d'hydrolyse de l'urée car concentrations en NH_4^+ faibles). L'augmentation de la concentration en NH_4^+ constatée sur tous les événements est normale. La baisse de concentration en NH_4^+ entre P3 et P6 traduit probablement, sauf pour E3, des pertes par volatilisation. Les trajectoires de concentrations de E2 sont étranges et n'ont pas pu être interprétées.

Pour conclure, nous pouvons dire que l'urine en absence d'air (en bidon fermé) perd moins d'azote ammoniacal. Selon la littérature, il est possible d'observer une diminution en moyenne de 20% de l'azote sur une période de 3 semaines pour un bidon rempli à moitié, contre 2% pour un bidon plein (16).

- Phosphate

Dans le cycle naturel, le phosphore est absorbé par les racines des plantes dans le sol et les animaux obtiennent du phosphore en se nourrissant de plantes. Le phosphore retourne dans le sol via les déjections des animaux et la décomposition des corps. Ceci fonctionne comme un système en boucle fermée entre les organismes et, la perte de phosphore dans ce système est donc faible (17).

Avant, dans les zones rurales, des agriculteurs récupéraient les récoltes puis déposaient leurs déchets dans les champs. Il y avait donc un bon équilibre entre la production et la consommation du phosphore. Aujourd'hui, nos déchets (les ordures ménagères et les déjections) et eaux usées sont envoyés à la station d'épuration, puis rejetés dans la nature et non dans les champs. Cela réduit la teneur en phosphore retourné dans les sols agricoles et augmente celle dans l'eau (lac, rivière et mer). Il y a beaucoup de phosphores déjà présents dans les sols. Mais plus le sol est acide (pH > 5) ou calcaire (pH > 8) moins le phosphore est mobile (18). Cela présente une certaine difficulté parce que la France a beaucoup de sol acide et calcaire. Même dans un sol où le pH est compris entre 7,5 et 8, la période d'assimilabilité du phosphore est comprise entre 1 à 3 semaines. Ce sont les deux raisons principales pour lesquelles on ajoute des engrais phosphatés dans les champs.

Le phosphore dans les engrais est exploité souvent dans les roches ignées sous forme de phosphore minéral (ex: phosphate de calcium, de fer, d'aluminium). Les ressources de ces roches seront épuisées dans 50 ou 100 ans si on continue de les exploiter.

Aujourd'hui, une énorme quantité de phosphore (et d'azote) se trouve dans l'eau usée et donc dans la station d'épuration. Les stations d'épuration ont besoin une grande énergie pour les traiter et récupérer. 80% d'azote et 50% du phosphore à traités par la station d'épuration viennent de l'urine qui présente que 1% du volume total de l'eau usée.

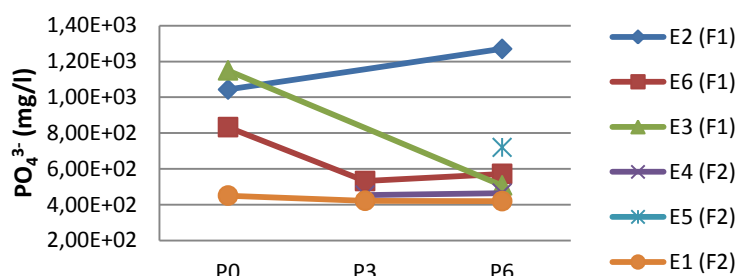


Figure 22: L'évolution de phosphate de F1 et F2

Il est difficile de conclure sur une tendance à la hausse ou à la baisse de la teneur en phosphate tout au long du stockage de l'urine. Pendant les 6 mois de stockage, la concentration en phosphate dans les urines est plutôt stable.

Théoriquement, la tendance à la baisse qui est observée provient de la précipitation du phosphate avec le magnésium contenu dans l'urine ou sous forme d'apatite. Ici, cette tendance est faiblement observable pour certains événements (E3 ; E6 et plus faiblement E1 et E5) ; cela peut s'expliquer par les faibles teneurs en magnésium des urines collectées.

Le phosphate évolue avec la même tendance que l'azote et la DBO₅ sous l'influence du pH.

- **E.coli**

On constate ci-dessous la forte diminution de la présence d'E.coli dans l'urine indépendamment du type de filière (F1 ou F2). 3 mois de stockage seulement sont nécessaires pour disposer d'urine présentant un taux supérieur à 3 log.

Sur le Figure 23, nous n'observons pas de différence de tendance entre les F1 (E2, E3, E6) et F2 (E1, E4, E5). Les urines ayant été en contact avec des matières carbonées ou pas, cela n'est plus le cas, la diminution d'E.coli au cours du compostage.

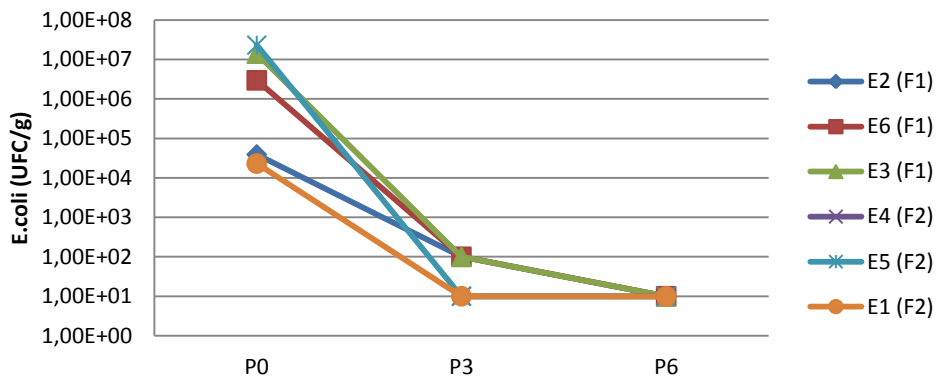


Figure 23: Comparatif des résultats pour le paramètre E.coli de F1 et F2

- **Entérocoques**

Pour l'ensemble des événements, les colonies d'Entérocoques de F1 et F2 ont diminué progressivement de moins 1 log en 3 mois. Au bout de 6 mois, elles ont atteint un taux inférieur à 2 log.

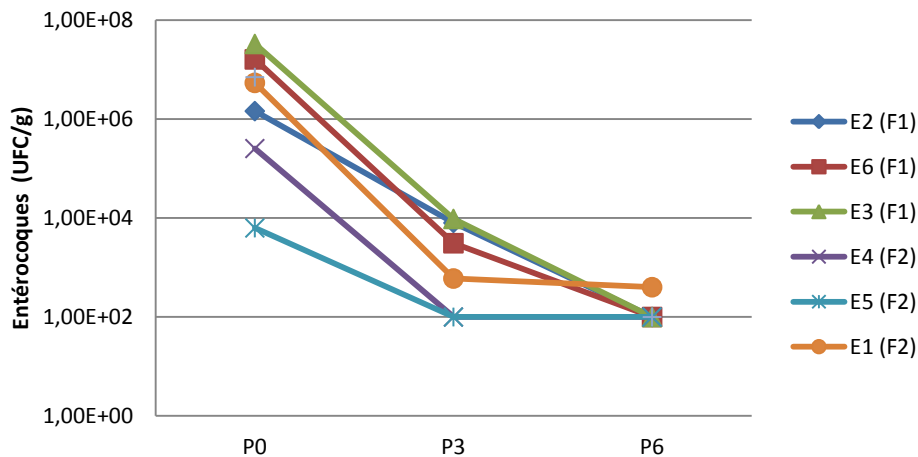


Figure 24: Comparatif des résultats pour le paramètre Entérocoque de F1 et F2

Les urines peuvent être considérées comme non contaminants après 3 mois de stockage (considéré comme la fin du maillon de traitement). Cette durée est 3 fois plus longue que dans les études de l’OMS (19) et d’EcoSanRes (30 jours s’il n’y a pas eu de contamination par les matières fécales).

5.4 Conclusion :

Sur l’ensemble des paramètres de l’urine, nous pouvons constater que une durée de stockage trois mois est suffisant pour avoir des faibles concentrations de pathogène. Une durée de 3 mois de stockage de l’urine F1 et F2 permet de garantir l’innocuité sanitaire de l’urine. L’autre raison c’est que le moment où nous avons collecté des urines en festivals dans la période de croissance des plantes (printemps et été), il est donc intéressant de stocker les urines de l’automne et hiver.

5.5 Analyse sur les Phases Solides (F3 et F4)

5.5.1 Caractéristiques physico-chimiques, microbiologiques et agronomiques sur F3 et F4

- Suivi de la température

La température est un témoin de l’activité microbienne au cours du compostage. Une forte augmentation de la température peut être entraînée par l’effet de la biodégradation et de la réaction chimique mais une grande part de la chaleur de cette augmentation est perdue dans l’atmosphère. L’effet sur l’augmentation de la température par la réaction chimique est faible et négligeable devant l’effet de la biodégradation.

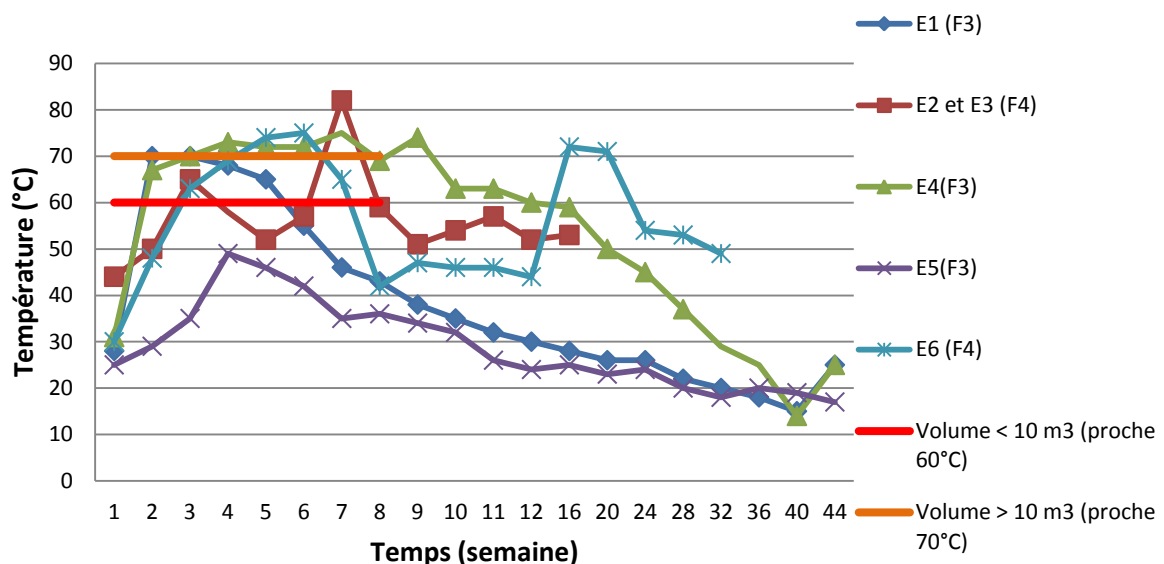


Figure 25: Suivis des températures au cours du compostage

Sur le Figure 25, les 3 composts (E1, E2/E3, et E4) connaissent de fortes augmentations de température au début de 1^{ère} semaine sous l'effet de l'activité microbienne. Cette période d'augmentation est appelée **la phase mésophile**. Dans les mêmes conditions, la teneur en micro-organismes est plus riche et la vitesse de cette augmentation est plus rapide.

Lorsque la température atteint environ 70 °C, cela entraîne une perte de chaleur par évaporation de l'eau et l'augmentation de la température s'arrête. On l'appelle **la phase thermophile** (période à laquelle la température est plus haute), elle est assurée par un bon rapport C/N, un bon taux d'humidité et une aération suffisante. La température du compost de **E1** est plutôt haute et stable du 2^{ème} à 5^{ème} semaine puis diminue jusqu'à 40^{ème} semaine. Un ralentissement de l'activité microbienne apparaît dans cette période du fait d'une diminution de la quantité de MO dégradable. La chaleur obtenue par la biodégradation est alors inférieure aux pertes par évaporation d'eau, entraînant un refroidissement du compost, nommé **la phase de refroidissement**. Cette phase peut être influencée par la température extérieure, le volume du compost et le nombre du brassage.

On observe une augmentation généralisée de la température sur tous les composts. Les trois composts (E1, E2/ E3 et E4) connaissent une forte augmentation de température dès la 1^{ère} semaine sous effet de l'activité microbienne avec un maintien de plus de 5 semaines au-dessus de 50°C. On note ici qu'une exposition homogène pendant 4 semaines proche de 60°C (entre 55 et 65°C) (20) est favorable pour tuer des pathogènes.

Dans la phase de refroidissement, on fait souvent des brassages afin d'homogénéiser les matières. Dans ce cas, le suivi de la température de cette phase se fait sur une courbe UU. Comme celle de **E2/E3**, mais leur brassage a été fait pendant une phase de montée de température. Le brassage a donc été fait dans la phase thermophile, ce qui risque de perturber le processus lors d'un 'coup de froid'. La température du compost de **E2/E3** a ensuite chuté très rapidement durant deux semaines après la première phase, puis elle s'est stabilisée avant de recommencer à diminuer légèrement.

La température du compost de E4, connaît une augmentation rapide puis une phase thermophile d'une durée d'environ d'un mois et baisse ensuite à partir de 9^{ème} semaine.

La température de E1 est supérieure à 50°C pendant plus de 5 semaines et **E4**, 15 semaines. Une telle exposition à des températures élevées doit être suffisante pour éliminer les germes pathogènes. Les composts des événements **E1 et E5** présentent quant à eux, une montée et un maintien de l'exposition à des températures élevées plus relatifs. Seules les matières d'**E5** ne sont pas exposées à plus de 50°C. On note ici qu'une exposition homogène pendant 4 semaines à plus de 50°C est nécessaire³⁰ pour assainir le compost.

Après la phase de refroidissement, le processus de la dégradation est terminé et la température baisse à un rythme lent, jusqu'à revenir au niveau de la même température que l'extérieur. Nous rentrons dans **La phase de maturation** ; elle permet l'humification des MO en combinant les composés simples obtenus précédemment. On obtient un compost stable et homogène. Cette phase peut continuer jusqu'à l'utilisation du compost.

³⁰ Selon les expériences obtenues par les anciennes études de TDM.

pH

Selon l'arrêté du 9 septembre 1997, les matières à composter présentent dans des limites acceptables, un pH compris entre 5 et 9 (21). Le pH peut être influencé par la teneur en ammoniac présente dans le compost initial et le transfert de NH_4^+ dans la biomasse microbienne durant la phase mésophile. Le pH augmente souvent durant la phase thermophile lors de la dégradation des acides organiques et entraîne une alcalinisation du compost.

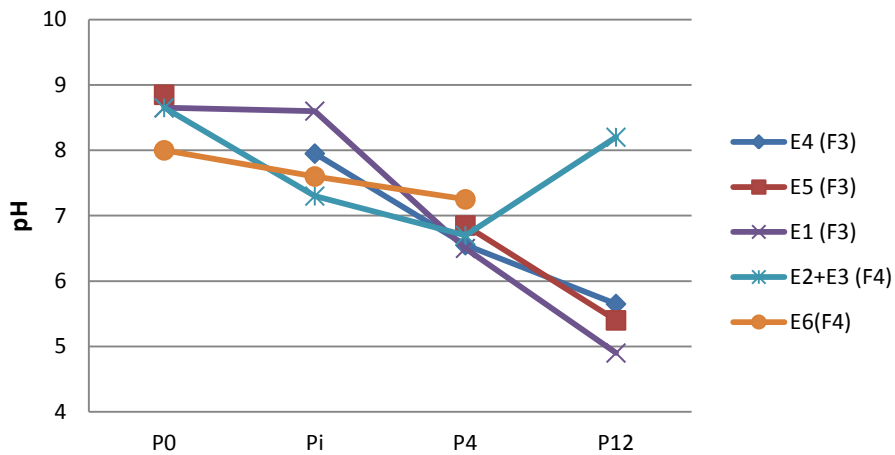


Figure 26: L'évolution du pH des matières brutes de F3 et F4

- Humidité

Un bon taux d'humidité permet d'assurer le développement des micro-organismes et la volatilisation de l'ammoniac. L'humidité initiale est comprise entre 80% et 95%, elle diminue ou augmente systématiquement au début selon la quantité de déchets verts introduits (P_i). Les sites avec des plateformes collectives semblent mieux réguler l'humidité pour favoriser les conditions de compostage. Nous notons que le facteur de dilution avec les déchets verts semble jouer un rôle fort.

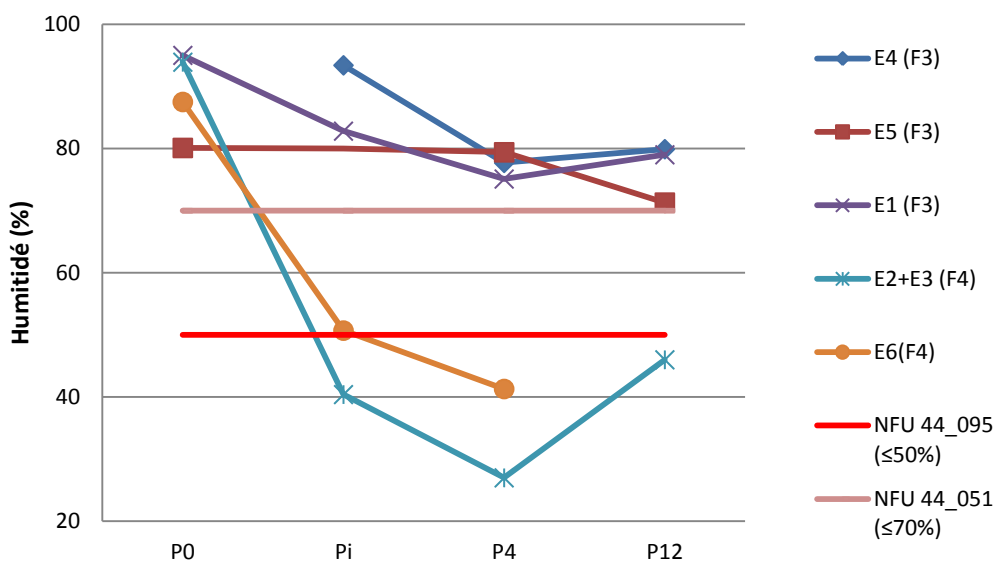


Figure 27: Évolution de l'Humidité

Nous constatons que les résultats obtenus pour E2/E3 et E6 peuvent respecter la NF U44-095 ($\leq 50\%$) à partir de P₄. Pour les autres évènements, 4 mois du compostage n'est pas suffisant pour atteindre un niveau d'humidité inférieur à 50% ni à 70% (NFU 44_051). Globalement, il apparaît que pour F3, les composts sont trop humides tandis qu'en F4, les taux d'humidité sont plus faibles. Cette analyse de l'humidité est directement liée à la quantité de déchets verts ajoutés pour le F4. Les forts taux d'humidité observés en F3 (certainement dus à l'ajout des urines de F1 ou F2) peuvent diminuer la quantité d'air disponible dans le compost. Une augmentation de l'ajout des DV et du nombre de brassages est alors nécessaire. Si le tas est trop humide, le processus de compostage est plus lent et la montée en température moindre.

En pratique (22), l'humidité du tas doit initialement être comprise entre 40% et 60% pour atteindre à la fin du processus, une humidité proche de 30%.

- NTK

Au niveau de l'utilisation de l'azote de l'urine aux champs, l'azote n'est pas assimilé directement par la racine des plantes en quantité importante ; il a été d'abord hydrolysé en ammonium par les enzymes du sol. Cela peut durer quelques jours ou quelques semaines en fonction de la saison (la température). L'équilibre physico-chimique entre l'ammonium et l'ammoniac est déplacé en faveur de ce dernier et il est possible d'observer des pertes d'azote par volatilisation d'ammoniac. Ce phénomène est influencé par des températures élevées (en été).

Sur le Figure 28, on voit bien que les teneurs en NTK ne varient pas beaucoup (elles sont toujours comprises entre 2 et 4 g/kg M.B., sauf E2/E3 et E6) après ajout des déchets verts (DV). On peut dire que les déchets verts (ou des co-compostes) introduits dans la matière fécale ont une teneur faible en N. Une nouvelle question se pose donc : « L'ajout de DV est-il vraiment efficace pour le compost ? »

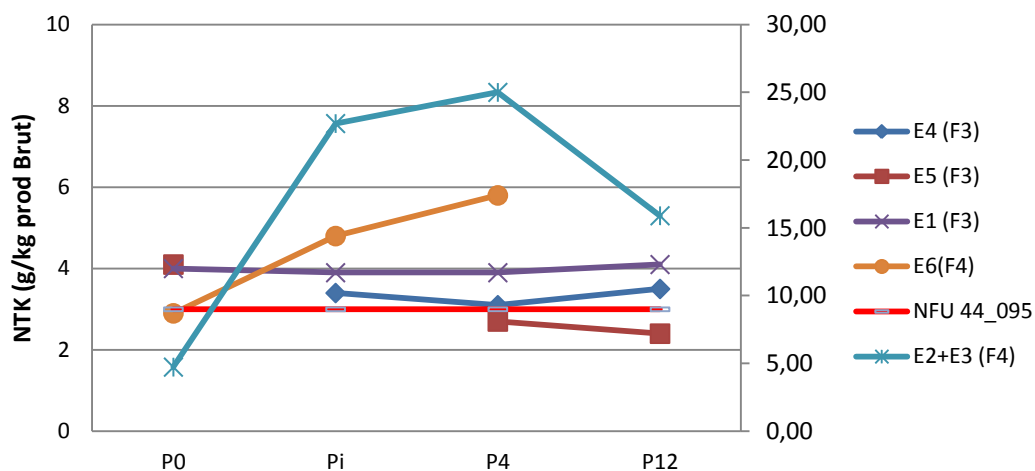


Figure 28: L'évolution de NTK des M.B. de F3 et F4 (valeurs d'E2+E3 issues des ordonnées de droite)

- Matière organique

Sur la Figure 29, nous pouvons constater que l'ajout des DV engendre une augmentation de la MO. En revanche, le taux de MO, bas ou élevé, est quasi identique (environ 20%) sur tous les sites au 4^{ème} mois (P4). Le même phénomène est observé pour E2/E3. Nous soulignons ici l'influence de la dilution sur la plateforme privée (14/1). La mesure de la MO pour E2+E3 correspond à la mesure de la MO des déchets verts. Nous pouvons constater que les résultats obtenus respectent la NF U44-051 et NF U44-095 (supérieur à 20%).

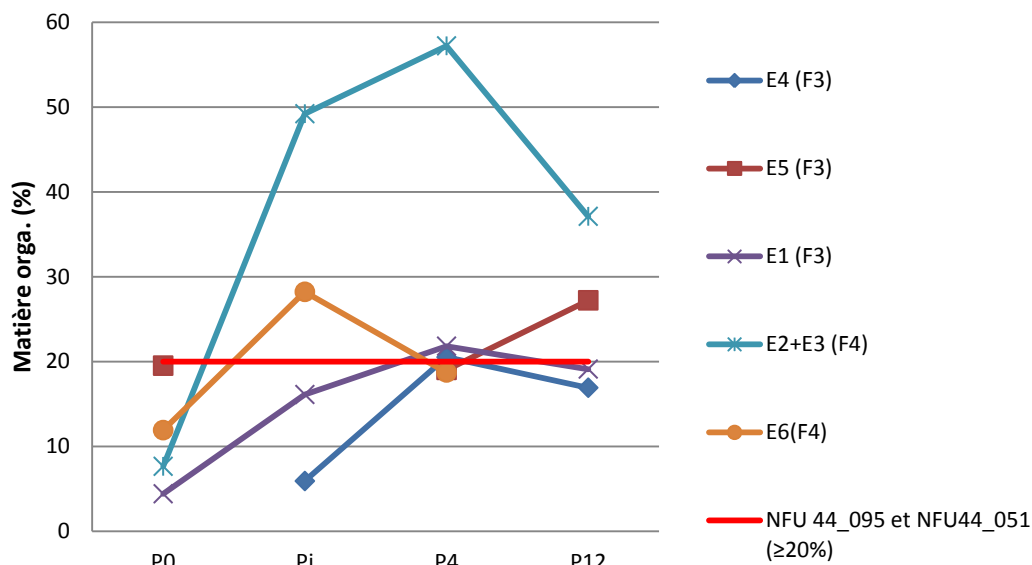


Figure 29: Comparaison de l'évolution du taux de MO des M.B.

- **Carbone**

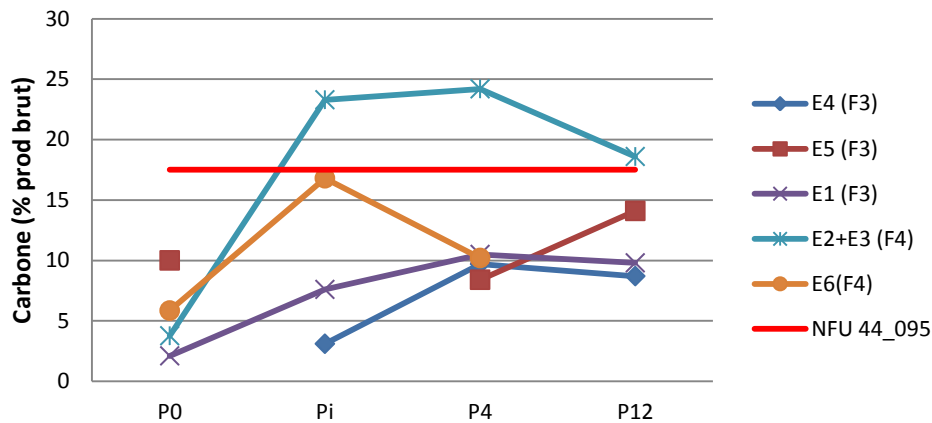


Figure 30: Comparaison de l'évolution de carbone des M.B.

On observe une évolution similaire entre le taux de MO et le taux de Carbone. Il convient ainsi de porter une analyse sur le ratio de ces paramètres...

- **Ratio MO/C**

Les MO sont dégradés sous l'action des micro-organismes en fonction des conditions du milieu (O_2 , humidité, température...) en produisant du CO_2 . Pour un compost stable, le ratio MO/C est autour de 1.5 à 2. Sur l'ensemble des sites, ce ratio est un peu plus élevé, ce qui signifie que les MO ne sont pas assez biodégradées jusqu'au 4^{ème} mois. Quel que soit les filières, à 12 mois le compost se stabilise. Seul E5 présente encore un compost trop riche en MO.

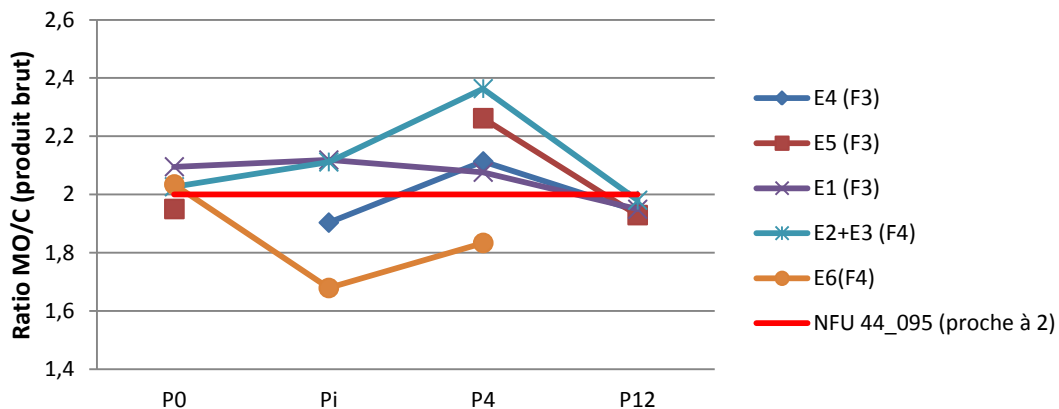


Figure 31: L'évolution du rapport MO/C

- **Ratio C/N**

Un bon rapport C/N est généralement compris entre 20 et 30, ce qui permet d'assurer une bonne circulation d'air et la croissance des bactéries (22). Le ratio C/N a beaucoup changé au moment de

l'ajout des DV (Pi), du fait de la forte concentration de carbone contenue dans les DV. Quatre mois plus tard, les ratios C/N de E, E4 et E5 sont au même niveau. Le ratio C/N d'E2/E3 est un peu bas, la teneur de l'azote est élevée du fait des DV employés ayant une forte teneur en azote. **Il serait donc souhaitable de rajouter de la matière sèche (paille, écorce, etc.).**

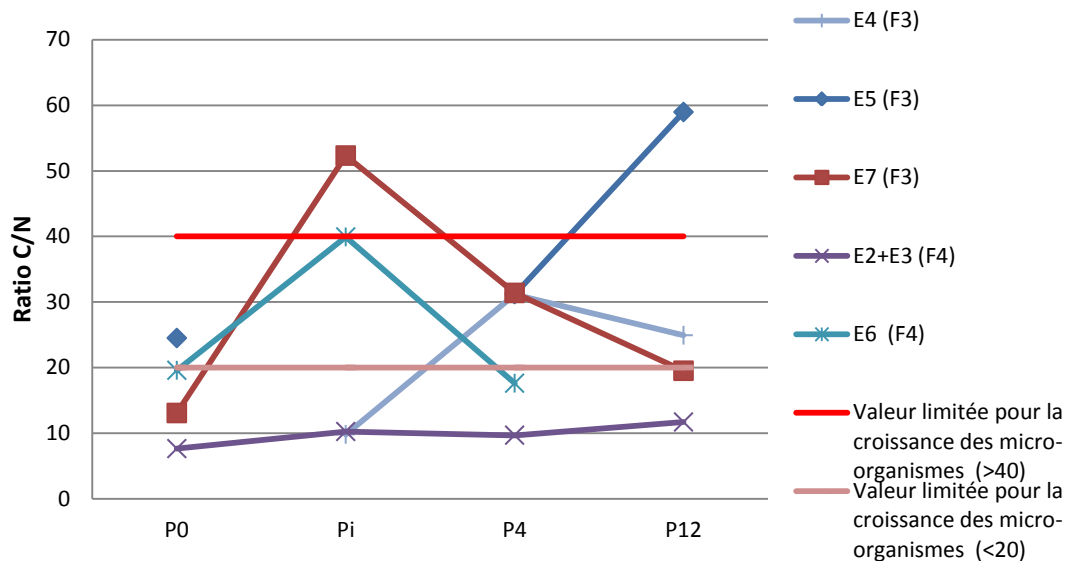


Figure 32: Évolution des ratios C/N

Quand le ratio C/N est supérieur à 40, la croissance des micro-organismes est limitée, et implique une durée de compostage plus longue. Si le ratio est inférieur à 20, cela entraîne une sous-utilisations de l'azote et le surplus d'azote pourra alors être perdu dans l'atmosphère sous forme d'ammoniac et l'odeur pourrait devenir un problème, ce qui n'est pas le cas ni sur F3 ni sur F4.

- **E. Coli**

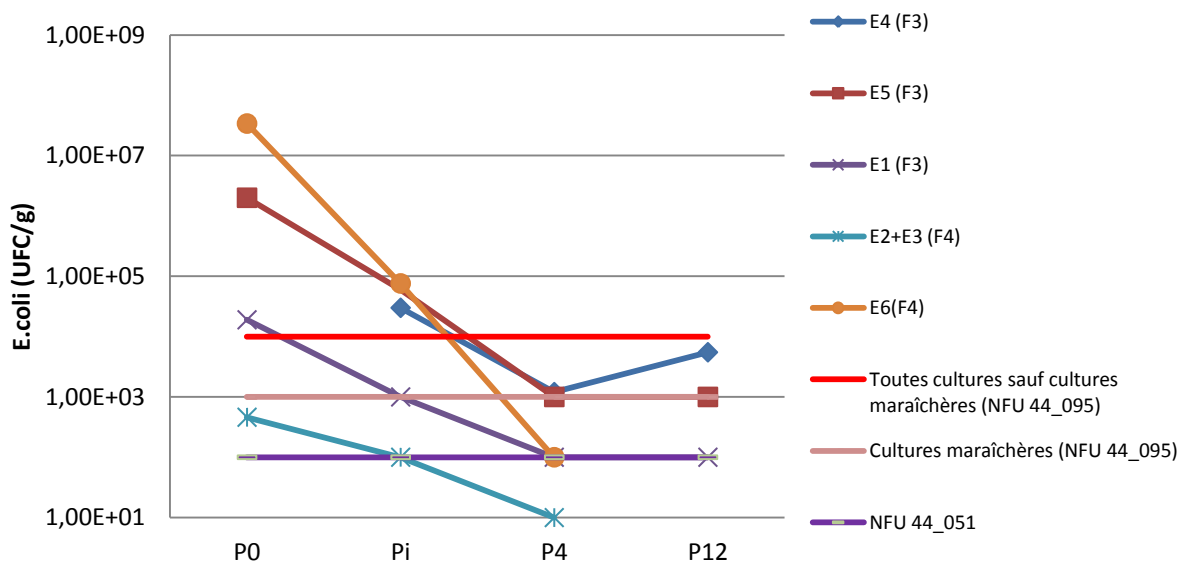


Figure 33 : Comparatif des résultats pour le paramètre E.coli de F3 et F4

Du fait d'un milieu défavorable à son développement, on observe une décroissance générale des colonies d'E. Coli d'environ 2 à 3 log dans les 4 premiers mois de traitement. Le facteur de dilution entre P_0 et P_i est à prendre en considération pour E6 (3 log). Ensuite entre P_i et P_4 , la montée en température de la matière a participé à poursuivre la diminution des bactéries.

Pour ce paramètre et quel que soit la filière, en 4 mois, la concentration d'E.coli a atteint son seuil maximal pour les cultures non maraichères. Mais plus difficiles à atteindre pour la filière F3 en ce qui concernant les cultures maraichères.

Sur ce paramètre pour la F3, les analyses montrent que la norme NF U44-051 est respectée.

- Entérocoques

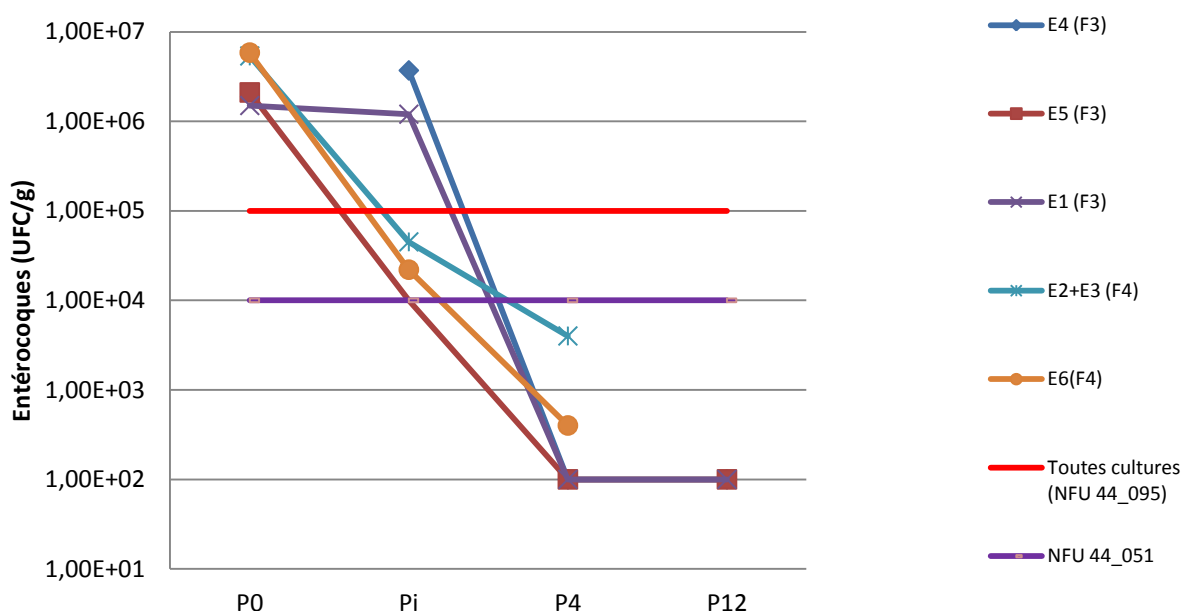


Figure 34 : Comparatif des résultats pour le paramètre Entérocoque de F3 et F4

Les colonies d'Entérocoques de F3 et F4 ont diminué fortement après l'addition des DV ; cette tendance a continué jusqu'à P4. La teneur en Entérocoques de E1 a connu moins de variations en moment de Pi. Mais cela n'affecte en rien sa dégradation finale. Cela peut être expliqué par le fait que le prélèvement n'ait pas été réalisé sur un compost homogène après l'ajout des DV dont le facteur de dilution est beaucoup plus faible.

Pour ce paramètre, quelque soit la filière F3 ou F4, en 4 mois, les seuils sont atteints pour la norme NF U44-051 et ce, quel que soit les cultures envisagées et pour tous les évènements.

- Cl. Perfringens

Le nombre de colonies de Cl.Perfringens a tendance à diminuer sur l'ensemble des sites et on constate que les milieux du compostage sont plutôt favorables à la dégradation des Cl.Perfringens.

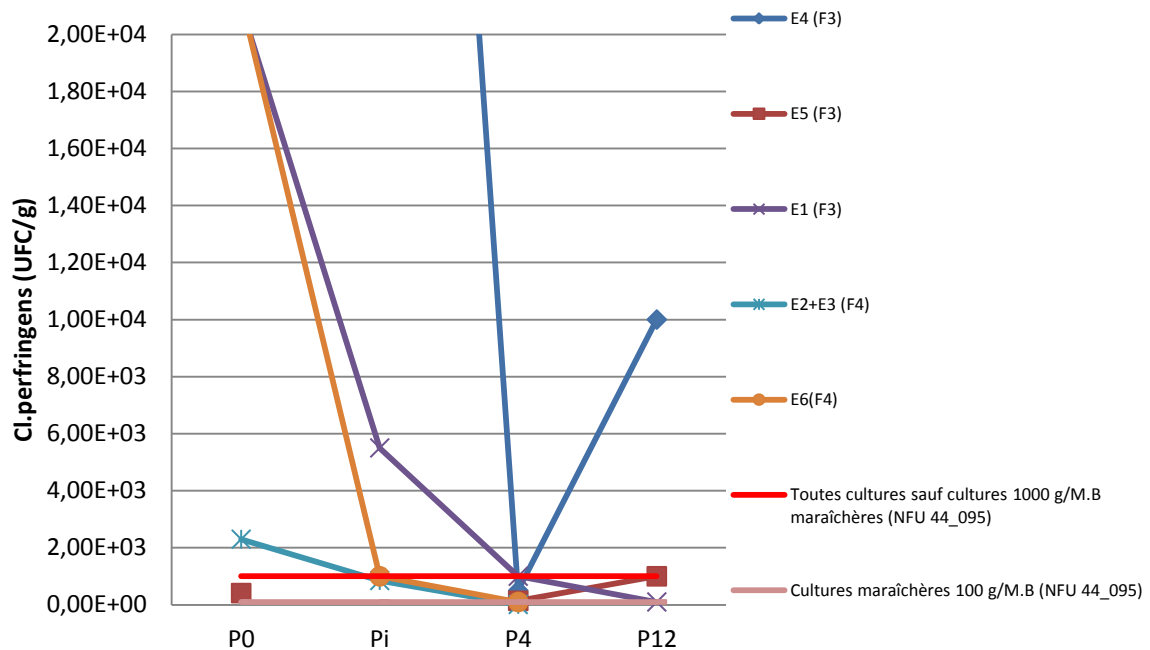


Figure 35: Evolution de Cl.Perfringens (UFC/g) de F3 et F4

La présence de Cl.perfringens a peu varié à F3 et F4. Les spores de Cl.Perfringens ont une tendance à la diminution devant 4 mois du compostage. Ceux de E7 a une reaugmentation de Pi au P4 mais si on regarde sur la Figure 35, les colonies de Cl.Perfringens n'a pas la même augmentation que leurs spores.

5.6 Conclusion

Les pathogènes ont été bien réduits au cours du compostage (4 à 12 mois), mais aussi l'azote et le phosphore qui sont les deux éléments plus importants dont nous avons besoin pour notre culture. Ma question est donc « si on utilise les composts que nous avons produit aux champs, est-ce qu'on ajoutera des engrais azoté et phosphoré supplémentaires ? ». Même question pour l'utilisation de l'urine. Sur les résultats d'analyse que nous avons faite dans la partie de l'analyse sur la phase liquide (F1 et F2), les pH de l'urine sont bien des pH basiques, et les teneurs en azote de l'urine n'ont presque pas changées. Donc 6 mois de stockage de l'urine (pour F1) est-il efficace ? Il y aura peut-être encore des pertes par volatilisation au moment où on valorise l'urine aux champs. Si on valorise de l'urine aux champs à une période où la température est moins élevée, par exemple, le soir, cela diminuera peut-être la volatilisation de l'azote urinaire.

Actuellement, les TS publiques sont une très bonne direction de développement, par contre, il y a de grandes difficultés à l'installation des TS chez les particuliers. Par exemple, la vidange, l'odeur, l'utilisation des sciures. Ces problèmes pourraient être relativement faibles pour des usagers qui ont un jardin.

Un bon système sur la gestion de TS permet d'assurer notre santé publique et notre environnement, il est donc préférable de réaliser des services plus complets dans le futur. Par exemple, tout d'abord créer des réglementations qui encadrent la gestion des TS et leurs sous-produits, des services sur la vidange des sous-produits de TS, un assainissement collectif pour TS (un réseau de collecte des séparations à la source des sous-produits de TS et les eaux ménagères). Ce sont des projets qui vont être réalisés dans le futur. Avoir un environnement de vie plus agréable pour nous et nos enfants est toujours un sujet intéressant et dont la nécessité se fait de plus en plus ressentir.

Conclusion

Je suis très heureuse d'avoir pu travailler dans l'équipe de TDM et du LEESU. Grâce à ce stage, j'ai pu acquérir des connaissances sur le fonctionnement de l'assainissement non collectif et avoir des points de vue plus globaux et plus complets sur la gestion de l'environnement. Les thèmes du recyclage et de la valorisation de ressources réutilisables (ex : N et P) présents dans les eaux usées et la décharge maximum des polluants des eaux usées avant leur entrée dans une station d'épuration sont des enjeux porteurs pour l'avenir. Mes études me permettent d'avoir des bases pour ce projet, je souhaiterais d'être intégré dans une équipe qui travaille sur la protection de notre planète.

Durant ce stage, je reconnais mes insuffisances sur la connaissance de la gestion d'Assainissement Non Collectif (ANC). Après deux ans de Master, je trouve que nous manquons d'informations sur les réglementations existantes pour le marché de l'ANC.

Je regrette également de ne pas avoir pu aller sur chaque site de compostage pour participer à faire le compost.

J'espère que mon stage aura été utile pour permettre le développement de pratiques d'assainissement plus écologiques et un encadrement approprié des filières de gestion des sous-produits de toilettes sèches mobiles ou urbaines.

Bibliographie

1. **Techno-science.** *Techno-science.* [En ligne] <http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=3560>.
2. **BERNE, B.** *Les toilettes sèches familiales: Etat de l'art, état des lieux dans plusieurs pays et propositions pour un accompagnement en France.* 2010.
3. **BERGER, W. et LORENZ-LADENER, C.** *Sanitärtechnik ohne Wasser- Komposttoiletten in der Ökologischen Siedlung Bielefeld-Waldquelle.* 2008.
4. **OTTERPOHI, R. et BRAUN, U.** *Technologies innovatrices pour la gestion décentralisée des eaux usées.* 2002.
5. **NEATFX.** [En ligne] 2014. <http://www.neatfx.fr/toilette>.
6. **Joaquin fernandez genève.** Marketing Intelligence & Etudes de marché. [En ligne] <http://www.joaquinfernandez.ch/calcul-marge-erreur.html>.
7. **Legifrance.** *Arrêté du 7 septembre 2009.* [En ligne] <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000021125109&categorieLien=id>.
8. **Arrêté du 9 septembre 1997.** [En ligne] <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000568897>.
9. **INERIS.** L'article R 541-8 du CE. *Annexe II.* [En ligne] http://www.ineris.fr/aida/consultation_document/10327.
10. **AFNOR. NFU 42_001,** *Engrais - dénominations et spécifications.*
11. **EcoSanRes.** *Conseils pratiques pour une utilisation de l'urine en production agricole.* 2011.
12. **CCI PARIS ILE-DE-FRANCE.** [En ligne] 2010. <http://www.entreprises.cci-paris-idf.fr/web/environnement/eau/gerer-eau-entreprise/criteres-globaux-polluants-origine-industrielle>.
13. **METCALF et EDDY.** *Wastewater Engineering. Treatment, Disposal and Reuse, 3ed Edition.* NewYork : McGraw-Hill.
14. **Galloway, J.N et Cowling, E.B.** Reactive nitrogen and the world: 200 years of change. 2002, Vol. 31(2), 64-71.
15. **Buri, R et Schildknecht, L.** Ammoniak-Ausgasung beim Transport von anthropogenen Nährstoffen in der Kanalisation Ammonia volatilisation during transport von anthropogenic nutrients in the sewer. Institute for Hydromechanics and Water Resources Managemen, Swiss Federal Institute of Technology, 1998.
16. **CHARRIN, V.** *Etude de valorisation des urines à Bangangté., Cameroun : s.n.*
17. **Kuntke, P.** *Nutrient and energy recovery from urine.* New York : Wageningen University, Avril 2003. ISBN 978-94-6173-528-7.
18. **FOX, D., et al.** *La dégradation des sols dans le monde.* s.l. : Université Nice Sophia Antipolis.

19. **Organisation Mondiale de la Santé (OMS).** *L'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères.*
20. **Portail environnement de Wallonie.** Le compostage. [En ligne]
<http://environnement.wallonie.be/education/compost/compostageentas.htm>.
21. **FRANCOU, C.** *Stabilisation de la matières organique au cours du compostage de déchets urbains: Influence de la nature des déchets et du procédé.* s.l. : Institut national ogronomique paris-grignon, 2003. TEL-00007519.
22. **MISRA, R.V., ROY, R.N. et HIRAOKA, H.** *Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole.* Archives de documents de la FAO. Rome : Food and Agriculture Organizatio of the United Nations (FAO), 2005. ISSN 1729-0554.
23. **KeVinkuhn.** *SuSanA.* [En ligne] 2016. <http://forum.susana.org/forum/categories/252-public-toilets-at-events-or-festivals/3557-festival-toilets-in-europe-great-britain-france-germany-?limit=12&start=24>.
24. **Galloway, J.N et Cowling, E.B.** Reactive nitrogen and the world: 200 years of chage. 2002, Vol. 31(2), 64-71.
25. **Kirchmann, H. et Pettersson, S.** Human urine – chermical – composition and fertilizer use eciency. 1995, Vol. 40(2), 149-154.
26. **Le centre d'information sur l'eau.** [En ligne] 2013. <http://www.cieau.com/les-ressources-en-eau/dans-le-monde/ressources-en-eau-monde>.
27. **VALO, M.** Le monde. *Le monde.* [En ligne] 20 03 2015. http://www.lemonde.fr/ressources-naturelles/article/2015/03/20/la-crise-de-l-eau-illustree-en-5-graphiques_4597592_1652731.html.
28. **EME, C. et BOUTIN, C.** *Composition des eaux usées domestiques par source d'émission à l'échelle de l'habitation.* s.l. : IRSTEA, ONEMA, CreaPure, 2015.
29. **alloway, J.N. et COWLING, E.B.** *Reactive nitrogen and the world: 200 years of change.* **G** 64-71, 2002, Vol. 32(2).
30. **Sercive Agronomie & Développement Durable.** *Programme régional d'études sur le compostage des boues.* 2012.
31. **Francou, Cédric.** « *stabilisation de la matière org au cours du compostage de déchets urbains* ». s.l. : Institut National Agronomique Paris-Grignon école doctoral abries, 2004. HAL Id: tel-00007519.

Ensemble des documents consultés

- Canler, Jean-Pierre.** « Guide technique sur les Matières de Vidange issues de l'assainissement non collectif: Caractérisation, collecte et traitements envisageables ». Agence de l'eau Rhône méditerranée&corse ; Sciences, Eaux & Territoires, 2009.
- Eme, Claire, et Catherine Boutin.** « Composition des eaux usées domestiques par source d'émission à l'échelle de l'habitation ». Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture ; Office National de l'Eau et des Milieux Aquatique ; CreaPure, 2015.
- Organisation Mondiale de la Santé,** « L'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères», Vol. II, 2012.
- Réseau d'Appui aux Initiatives Locales (RAIL)** « Mettre en œuvre un service d'assainissement durable en milieu urbain dans le cadre de la décentralisation au Niger », 2007.
- Siège Social.** « Etude des produits de l'assainissement collectif, non collectif et mise en place d'un plan de gestion départemental ». Conseil Général de la Haute-Savoie, 2010.
- Terra Sol, Conseil Général Jura.** « Plan départemental de prévention et de gestion des déchets non dangereux », 2014.
- Adam, Théo.** « Charte de bonnes pratiques de compostage agricole ». Les Agriculteurs Composteurs de France, 2015.
- Agence de l'Eau Rhône Méditerranée** « Audit de bon fonctionnement des plateformes de compostage de boues sur le bassin Rhône Méditerranée », 2008.
- Etter, B., K.M. Uders, et T. Gounden.** « Valorisation of Urine Nutrients - VUNA Final Report 2015 », EAWAG.
- C. Francou.** « Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets urbains ». Planète et Unvierts [physics], INAPG (AgroParisTech), 2003. Consulté le 02 mai 2016. <https://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00000788>
- Grisey E.** « Impact de l'évolution des déchets d'une installation de stockage de déchets non dangereux sur l'environnement ». Université de Franche-Comté, 2013.
- Menard, C., D. Girard, D. Léon, et F. Beck.** *Baromètre santé environnement.* L'Institut national de prévention et d'éducation pour la santé (INPES), 2007.
- Rochery F., Gabert J.** « La filière de gestion des boues de vidange: de l'analyse aux actions - Actes de l'atelier d'échanges du 1er mars 2012 », Juin 2012.
- Service Agronomie & Développement Durable.** « Expertise du compostage de boues en Lorraine: état des lieux, qualité des produits, débouchés et synthèse de fonctionnement de la filière », 2012.

Centre National Côte d'Ivoire, « Stratégie de gestion des boues de vidange issues des fosses septiques et des latrines dans une ville de plus de 500 000 habitants: cas de la commune de Bouaké en COTE D'IVOIRE », Décembre 2002.

Znaidi I.El.A. « Etude et évaluation du compostage de différents types de matières organiques et des effets des jus de composts biologiques sur les maladies des plantes ». C.I.H.E.A.M Mediterranien Agronomic Institute of BARI, octobre 2002.

Agricultures & Territoires Chambre d'Agriculture Languedoc-Roussillon. *Les produits organiques utilisables en agriculture en Languedoc-Roussillon*, Vol. 1, 1997.

Albrecht, Rémy. « Co-compostage de boues de station d'épuration et de déchets verts: nouvelle méthodologie du suivi des transformations de la matière organique ». Sciences de l'environnement, Université Paul Cezanne Aix-Marseille III, 2007.

E., Compoaré, et Nanéma L.S. « Compostage et qualité du compost de déchets urbains de la ville Bobo-Dioulasso », 2010.

Fischer G, Muller T, Ostrowski R, Dott W. « Mycotoxins of *Aspergillus Fumigatus* in Pure Culture and in Native Bioaerosols from Compost Facilities ». *Elsevier Ltd, Chemosphere*, 38, n° 8 (1999): 1745-55.

Réseau Santé Déchets (I.S.D.), « Info Santé-Déchets, N°49», septembre 2005.
http://www.infosantedechets.org/recherche_dechets_sante/bulletin_ISD.php. Consulté le 12 mai 2016.

Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS). *Documents pour le médecin du travail N°79 3e trimestre 1999.*

Raynal-Lacroix, C. « Minéralisation des MO et valeur nutritive ». Présenté à la Rencontre Technique Agriculture Biologique Légumes Ctifl Itab, 2012.

S. Kalloum, M. Khelafi, M. Diaafri, A. Tahri, et A. Touzi. « Etude de l'influence du pH sur la production du biogaz à partir des déchets ménagers ». *Revue des Energies Renouvelables* 10, n° 4 (2007) (Décembre 2007): 539-43.

Schonning, Caroline, et Thor Axel Stenstron. « Recommandations pour un usage sans risques de l'urine et des matières fécales dans les systèmes d'assainissement écologique ». Institut del'Environnement de Stockholm, 2004. www.ecosanres.org. Consulté le 25 mai 2016

Esrey, Steve, Jean Gouhg, Dave Rapaport, Ron Sawyer, Mayling Simpson-Hébert, et Jorge Vargas. *Assainissement écologique.* Département des Ressources Naturelles et de l'Environnement Stockholm., 1998.

Annexe 1 : Les sous-produits des différents types de toilettes sèches (pour une famille de 4 personnes)

	Ajout de matières sèches	Sous-produits solides			Sous-produits liquides		
		Composition	Volume d'une vidange	Fréquence des Vidanges	Composition	Volume	Gestion
T. à compostage discontinu	Après chaque usage	Fèces fraîches + litière carbonée imbibée d'urine	10 à 30 litres	1 à 3 fois par semaine	Aucun	-	-
T. à comp. compact	+/- 1 x/j	Compost jeune	Une dizaine de litres	1 fois par mois ou moins	Lixiviats	Selon éléments chauffants et ajout litière. De 0 à 25 litres / pers / mois	Evacuation ou valorisation
T. à comp. à gros volume	+/- 1 x/j ou uniquement au démarrage	Compost plus mûre	30 à 50 litres / personne	Plus ou moins 1 fois par an			
T. à sép. source compact	Optionnel, après chaque défécation	Fèces fraîches ou compostées ou déshydratées	15 litres	1 à 2 fois par mois	Urines « pures »	30 à 40 litres / pers / mois	Evacuation ou valorisation
T. à sép. source à gros volume	Après chaque défécation	Matières compostées ou déshydratées	30 à 50 litres / personne	tous les 6 à 18 mois			
T. à sép. gravitaire	Jamais ou après chaque défécation	Lombricompost ou mélange de fèces et de litière	Selon modèle	Selon modèle	Urines souillées	30 à 40 litres / pers / mois	Evacuation ou valorisation

Légende : T. à comp. = toilette à compostage – T. à sep. = toilette à séparation

Annexe 2 : Fiche animation des Toilette Sèches

1. Recherche de solution - Options d'accès à l'eau	
2. Diagnostic extérieur	
<ul style="list-style-type: none"> a) Evaluation sanitaire initiale b) Chemin de traverse c) Entretien semi-dirigé 	Par les activités sur terrain
<ul style="list-style-type: none"> d) Diagramme de VENN³¹ e) Enquête conscientisant 	Diagnostic participatif avec la population
f) Les 3 piles	
<ul style="list-style-type: none"> g) Carte communautaire eau et assainissement h) Tableau à proches sources et usages de l'eau i) Focus group 	
<ul style="list-style-type: none"> j) Voie et barrages de la contamination 	
3. Recherche de solution	
<ul style="list-style-type: none"> a) Options d'assainissement b) Choix du système d'assainissement 	
4. Entretien, gestion et suivi	
<ul style="list-style-type: none"> a) Tableau à proches suivi et gestion b) Explication des utilisations et des protections de TS c) Fiches de suivi utilisation et entretien 	
5. Planification	
<ul style="list-style-type: none"> a) Planifier le changement de l'assainissement b) Planifier le changement d'eau 	
6. Construction	

³¹ Diagramme de VENN : identifier les personnes et les groupes qui ont une influence sur les prises de décision.

Annexe 3 : Les questionnaires d'enquête adressé aux festivals



Questionnaire à destination des usagers de Toilettes Sèches Mobiles

Dans le cadre de l'étude sur les Toilettes Sèches Mobiles, l'Association Toilettes Du Monde (TDM), en partenariat avec le Réseau de l'Assainissement Ecologique (RAE), réalise une enquête auprès des usagers de Toilettes Sèches Mobiles. Cette enquête a pour objectif de définir la perception de l'éventuel risque sanitaire qu'ont les personnes en liens avec des toilettes sèches mobiles.



<p>1. Sexe</p> <input type="checkbox"/> Femme <input type="checkbox"/> Homme	<p>2. Age</p> <input type="checkbox"/> 15-25 ans <input type="checkbox"/> 25-35 ans <input type="checkbox"/> 35-65 ans <input type="checkbox"/> >65 ans	<p>3. Lieu de l'évènement / Lieu de remplissage du questionnaire</p> <p>_____</p>								
<p>4. Date</p> <p>____ / ____ / 2015</p>	<p>5. Département</p> <p>_____</p>									
<p>6. En général, utilisez-vous des toilettes publiques?</p> <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<p>7. Avez-vous déjà utilisé une toilette sèche ?</p> <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<p>8. Si oui, combien de fois</p> <input type="checkbox"/> 1 à 5 fois <input type="checkbox"/> entre de 10 fois <input type="checkbox"/> plus de 20 fois								
<p>9. Si oui, dans quel cadre?</p> <input type="checkbox"/> chez un privé <input type="checkbox"/> Toilettes Publiques fixes <input type="checkbox"/> Toilettes Publiques mobiles	<p>10. Pour vous, une toilette sèche c'est...</p> <input type="checkbox"/> sale <input type="checkbox"/> plus propre qu'une toilette à eau <input type="checkbox"/> il y a des odeurs <input type="checkbox"/> il y a des mouches <input type="checkbox"/> les gens font plus attention que d'habitude à la propreté du lieu <input type="checkbox"/> Autre, précisez : _____	<p>11. Qu'est-ce qui est important dans des toilettes sèches mobiles ?</p> <input type="checkbox"/> La propreté <input type="checkbox"/> La préservation de l'environnement <input type="checkbox"/> La décoration <input type="checkbox"/> La réduction des risques sanitaires <input type="checkbox"/> L'accessibilité <input type="checkbox"/> L'accueil <input type="checkbox"/> Autre, précisez : _____								
<p>12. Êtes vous satisfait lorsque vous utilisez une toilette sèche mobile?</p> <input type="checkbox"/> Tous le temps <input type="checkbox"/> La plupart du temps <input type="checkbox"/> Rarement <input type="checkbox"/> Jamais <input type="checkbox"/> parce que... _____	<p>13. Lorsque vous sortez de Toilettes Sèches Mobiles, vous avez tendance à ...</p> <input type="checkbox"/> vous laver les mains normalement <input type="checkbox"/> plus vous laver les mains <input type="checkbox"/> faire comme d'habitude	<p>14. Attribuez un degré de risque (entre 0 et 5 / 0: aucun risque et 5: risque important) :</p> <table border="1"> <tr> <td>_____</td> <td>dangereux pour l'environnement</td> </tr> <tr> <td>_____</td> <td>dangereux pour la santé</td> </tr> <tr> <td>_____</td> <td>risque d'hygiène</td> </tr> <tr> <td>_____</td> <td>autre suggestion :</td> </tr> </table>	_____	dangereux pour l'environnement	_____	dangereux pour la santé	_____	risque d'hygiène	_____	autre suggestion :
_____	dangereux pour l'environnement									
_____	dangereux pour la santé									
_____	risque d'hygiène									
_____	autre suggestion :									
<p>15. Vous essayez-vous sur la lunette des toilettes publiques ?</p> <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<p>16. Eprenez-vous le besoin de vous laver les mains après avoir utilisé les présentes toilettes?</p> <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<p>16.bis Avez-vous eu la possibilité de vous laver les mains ?</p> <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non								
<p>17. Selon vous, quelles sont les voies de contamination possibles d'une toilette?</p> <input type="checkbox"/> La cuvette <input type="checkbox"/> Les murs <input type="checkbox"/> La poignée	<p>18. Après avoir été aux toilettes, puis-je contaminer des personnes autour de moi?</p> <input type="checkbox"/> La main <input type="checkbox"/> L'eau <input type="checkbox"/> Autre, à préciser : _____ <input type="checkbox"/> Comment ? : _____									

19. Savez ou savez vous utiliser ces toilettes ?

Oui
 Non

20. L'explication pour utiliser les toilettes sèches mobiles que vous connaissez est-elle claire ?

Oui
 Non

21. Comment sont collectées vos urines dans cette toilette ?

Ne sais pas
 Mélangé aux selles/caca avec de la litière (scure ou autre...)
 Avec de la litière seule
 Directement sans ajout

22. Comment est collecté votre crotte dans cette toilette ?

Ne sais pas
 Mélangé à l'urine avec de la litière
 Avec de la litière seule
 Directement sans ajout

23. Que deviennent vos excréments (pipi/caca) à la fin de la fête ?

Ne sais pas
 Ils restent sur place
 Sont transportés ailleurs

24. Que deviennent ensuite vos excréments (pipi/caca) ?

Ne sais pas
 Sont traités en station d'épuration
 Sont compostés
 Sont incinérés

25. Pour vous, où sont les risques ? maraîchage ?

Devant la cabine
 Pendant le transport après la fête
 Pendant le traitement (compostage, station, etc.)
 Lors du retour au sol
 Autre, précisez: _____

26. Peut-on épandre des excréments compostés en maraîchage ?

Oui
 Non
 Ne sais pas

27. Manger des fruits/légumes dont les plants ont bénéficié d'engrais issus des toilettes, est-il dangereux pour la santé ?

Oui
 Non
 Ne sais pas

28. Selon vous, il est plus écologique d'utiliser :

des toilettes à eau
 des toilettes sèches
 des toilettes chimiques
pourquoi, précisez: _____

29. Selon vous, les toilettes sèches préservent-elles la ressource en eau ?

Oui, pourquoi: _____
 Non, pourquoi: _____
 Ne sais pas

30. Concernant les indésirables de toilettes (tampons, couches, serviettes hygiéniques, préservatifs qui n'y ont pas leur place), sont-ils plus problématique pour :

les toilettes sèches mobiles
 les toilettes chimiques mobiles ou à eau
 les deux

31. Selon vous, pour limiter l'impact environnemental, il est préférable :

de composer les matières en paletteforme systée collective
 de composer les matières dans l'entreprise responsable des toilettes
 de composer le plus proche possible de l'évènement
 de déverser en station d'épuration

32. Selon vous, le processus de compostage est-il polluant ?

Oui
 Non

33. Comment s'assurer que le compostage ne pollue pas ? plusieurs réponses possibles...

Aire écartée au sol
 Protection de la paille
 Récupération du méthane
 Autre, précisez: _____

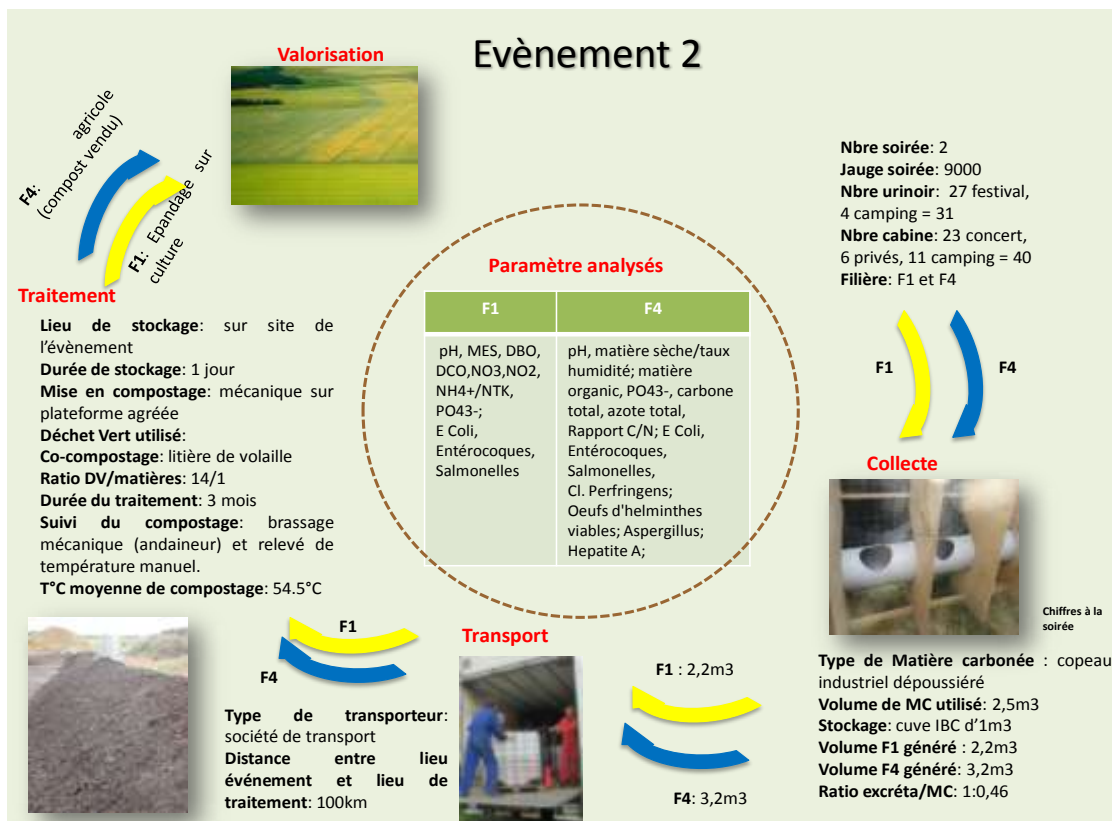
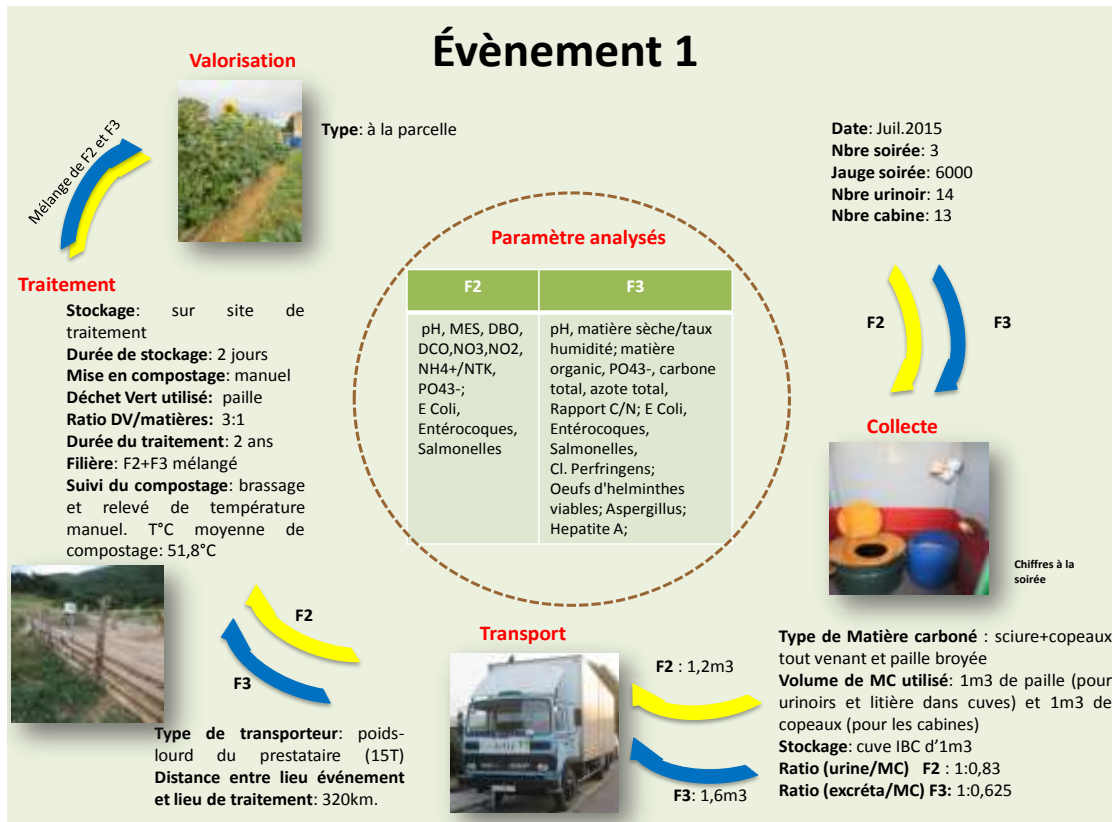
31. Selon vous, pour limiter l'impact environnemental, il est préférable :

de composer les matières en paletteforme systée collective
 de composer les matières dans l'entreprise responsable des toilettes
 de composer le plus proche possible de l'évènement
 de déverser en station d'épuration

Merci de votre collaboration.

Vous pouvez rendre ce questionnaire directement au prestataire de toilettes sèches de l'évènement sur lequel vous vous trouvez,
ou
l'envoyer à l'adresse postale suivante : TDM, 28 place des Arcades - 26110 NYONS
ou
l'envoyer à l'adresse mail suivante : contact@toilettesdumonde.org
Si besoin, contacter nous au 0475262998.

Annexe 4 : Les filières de la gestion des sous-produits issus de Toilettes Sèches (E1 et E2)



Annexe 5 : Quelques réglementations qui encadrent la gestion des Toilettes Sèches

Décret du 8 décembre 1997, relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées.

Extrait :

« Art. 1er. - Le présent décret a pour objet de définir les conditions dans lesquelles sont épandus sur les sols agricoles, forestiers ou en voie de reconstitution ou de revégétalisation les sédiments résiduels des installations de traitement ou de prétraitement biologique, physique ou physicochimique des eaux usées, ci-après dénommés « boues ».

Art. 2. - Ces boues ont le caractère de déchets au sens de la loi du 15 juillet 1975 susvisée. Leur épandage est au nombre des activités entrant dans le champ d'application de l'article 10 de la loi no 92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau, dont l'autorisation ou la déclaration fait l'objet du chapitre IV ci-après.

Ne sont pas soumis aux dispositions du présent décret :

- les produits composés en tout ou en partie de boues qui, au titre de la loi du 13 juillet 1979 susvisée, bénéficient d'une homologation ou, à défaut, d'une autorisation provisoire de vente ou d'importation, ou sont conformes à une norme rendue d'application obligatoire ;*
- les boues dont l'épandage fait l'objet de réglementations spécifiques au titre de la loi du 19 juillet 1976 susvisée.*

Art. 3. - Les dispositions du présent décret fixent, en matière d'épandage des boues, les règles générales d'hygiène et toutes autres mesures propres à préserver la santé de l'homme au sens de l'article L. 1 du code de la santé publique.

Elles se substituent, à compter de leur date d'entrée en vigueur, aux règlements sanitaires départementaux.

Art. 4. - Les matières de curage des ouvrages de collecte des eaux usées ne peuvent être assimilées à des boues que lorsqu'elles ont subi un traitement destiné à en éliminer les sables et les graisses. A défaut, leur épandage est interdit.

L'épandage des sables et des graisses est interdit quelle qu'en soit la provenance. Le mélange des boues provenant d'installations de traitement distinctes est interdit. Toutefois, le préfet peut autoriser le regroupement de boues dans des unités d'entreposage ou de traitement communs, lorsque la composition de ces déchets répond aux conditions prévues au chapitre III. Il peut également, sous les mêmes conditions, autoriser le mélange de boues et d'autres déchets, dès lors que l'objet de l'opération tend à améliorer les caractéristiques agronomiques des boues à épandre. Les matières de vidanges issues de dispositifs non collectifs d'assainissement des eaux usées sont assimilées aux boues issues de stations d'épuration pour l'application du présent décret. »

Arrêté du 8 janvier 1998, fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles pris en application du décret n° 97-1133 du 8 décembre 1997 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées.

Arrêté du 6 mai 1996 fixant les prescriptions techniques applicables aux systèmes d'assainissement non collectifs.

Recommandations techniques selon S. Lanoé, l'installation du réseau lié à la collecte des urines:

Condition	Une canalisation collecte les urines provenant de <u>plusieurs toilettes</u>	Un système de canalisation ne collecte les urines que <u>d'une seule cuvette</u>
Installation (technique)	<p>Canalisations et tanks de stockage devront être en matériaux non corrosifs.</p> <p>Un système de siphon est obligatoire pour chacune des cuvettes.</p> <p>Sur de telles installations collectives, la section des canalisations sera d'au moins 75mm et une pente minimum de 1% sera observée. Des sections plus élevés (110mm) permettent d'éviter les risques de dépression (mauvais écoulement).</p> <p>Des trappes d'accès, pour le contrôle et le nettoyage, sont à prévoir au niveau de tous les coudes.</p>	<p>Un siphon n'est pas indispensable.</p> <p>La section de canalisation minimale est de 25mm, la pente d'au moins 4%. Son longueur sera idéalement inférieure à 10m mais ce n'est pas obligatoire, afin d'assurer une bonne circulation du liquide.</p> <p>Les coudes et zones de ralentissements des écoulements sont à éviter.</p> <p>La longueur des canalisations sera idéalement inférieure à 10m.</p>
Entretien	L'introduction 2 fois par an, d'acide citrique (>24%) ou de soude caustique (au moins 2 parts d'eau pour 1 part de soude) dans le réseau de canalisation, suivie immédiatement de 1 à 2L d'eau afin d'éviter des risques d'obstruction.	

Annexe 6 : L'exemple d'une expérience en Allemagne

Sur le site SuSanA, un sujet <Festival toilets in Europe (Great Britain, France, Germany,...)> (23), a donné quelques informations sur la mise à jour un progrès dans l'assainissement durable mobile en Allemagne.

Il a dit qu'il n'y avait pas de moyens juridiques pour un traitement approprié/compostage pour les résidus. Par conséquent, ils ont commencé quelques activités sur le stockage des matières en faible quantité. Cependant, comme la demande du marché pour le compostage des Toilettes Sèches dans les festivals augmente. Ils ont besoin une solution juridique et évolutive. Ils ont fait des recherches dans les spectres des déchets (administration, des syndicats, les collectionneurs, les sites de compostage), il y a maintenant une solution.

En Allemagne il est légal de disposer des résidus solides (sciure de bois, le papier et les matières fécales des toilettes) dans les ordures ménagères dans une usine MBT (Mechanical Biological Treatment), si nous pouvons déclarer nos matières en tant que déchets. Dans ces installations, le traitement soit la décomposition, soit l'incinération. Leurs produits finaux sont habituellement utilisés pour des applications non alimentaires, ex: les parcs.

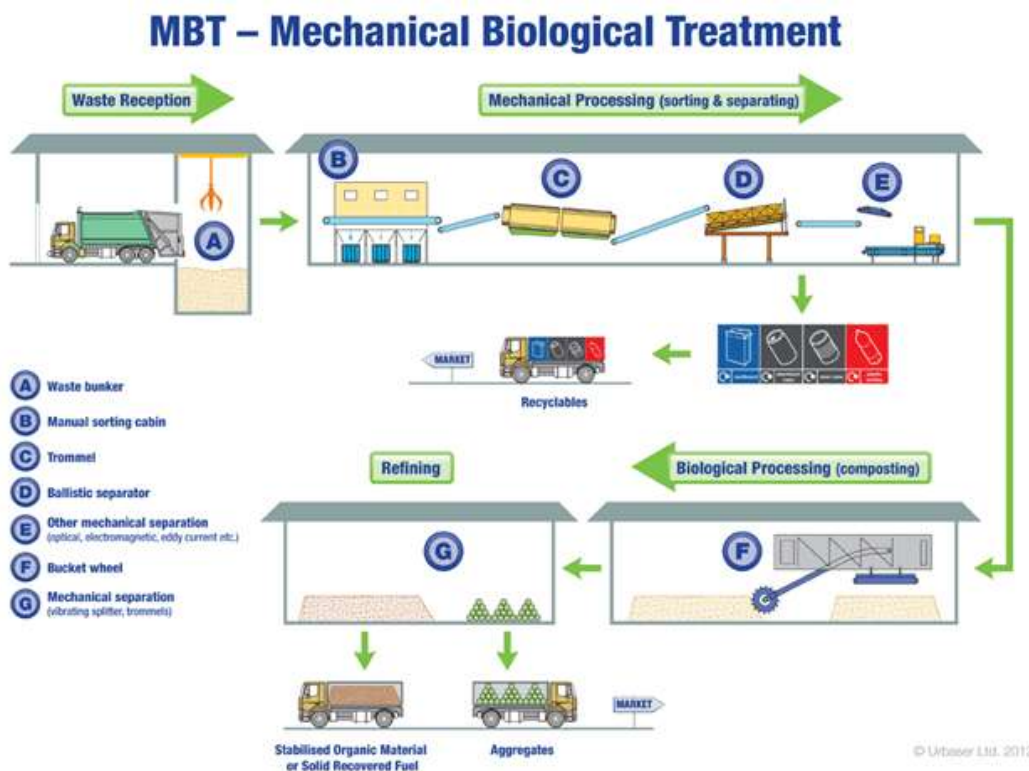


Figure 36: Schéma du traitement MBT

Mais il existe certains inconvénients:

- Les matières ne peuvent qu'avoir très peu de fluide. Ça veut dire qu'il est nécessaire d'avoir une séparation liquide - solide (urine - matières fécales), donc leur coût plus élevés.
- Le coût d'élimination est assez élevé, le prix varie actuellement entre 160 €/t - 260 €/t, en outre, un conteneur doit être commandé pour transporter les matières du site du festival à l'installation du compostage, qui coûte des frais supplémentaires de 90€ - 160€.

- La plus grande partie des stations d'épurations refusent toujours de prendre les matières, dans ce cas, la distance de transport des matières est plus élevée et le coût est donc plus élevé aussi.

Annexe 7 : Impact des déchets verts sur la microbiologie du compost

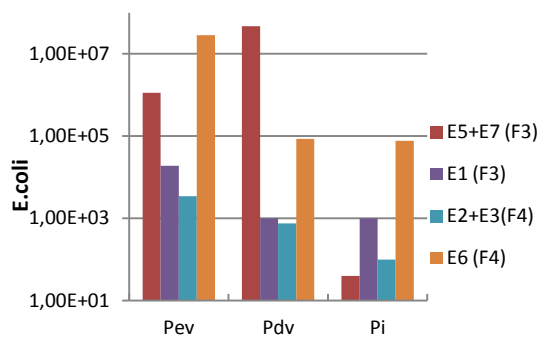


Figure 37: Comparaison des concentrations en E.coli (matières fraîches, déchets verts et mélange des 2)

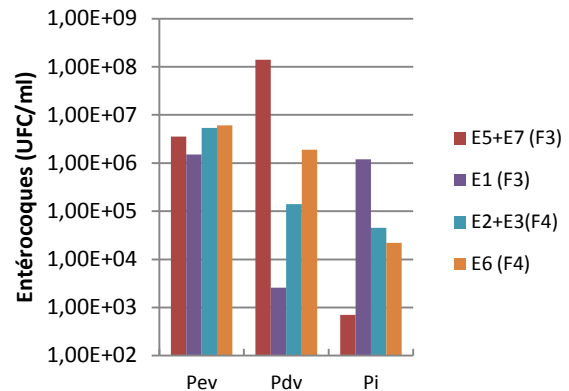


Figure 38: Comparaison des concentrations en Entérocoques (matières fraîches, déchets verts et mélange des 2)

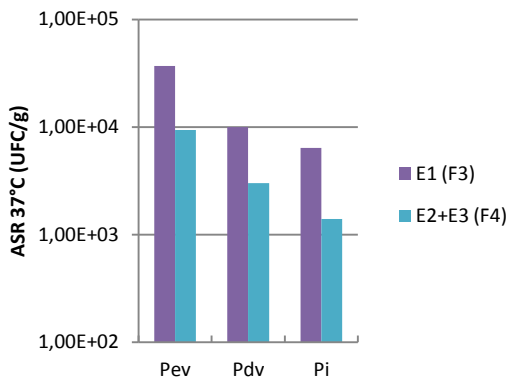


Figure 39: Comparaison des concentrations en ASR 37°C (UFC/g) (matières fraîches, déchets verts et mélange des 2)

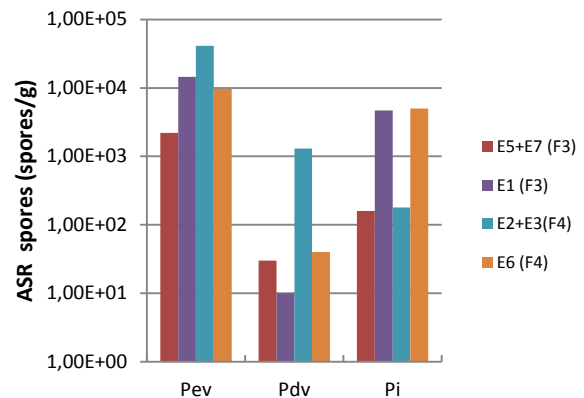


Figure 40: Comparaison des concentrations en ASR 37°C (spores/g) (matières fraîches, déchets verts et mélange des 2)

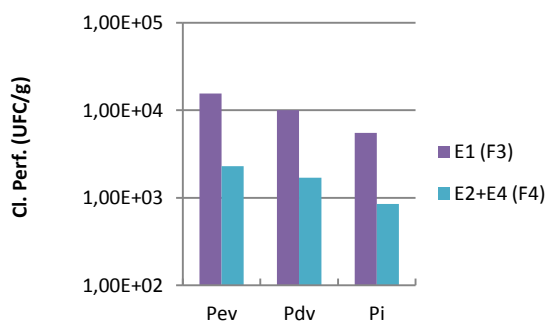


Figure 41: Comparaison des concentrations en Cl.perf. (UFC/g) (matières fraîches, déchets verts et mélange des 2)

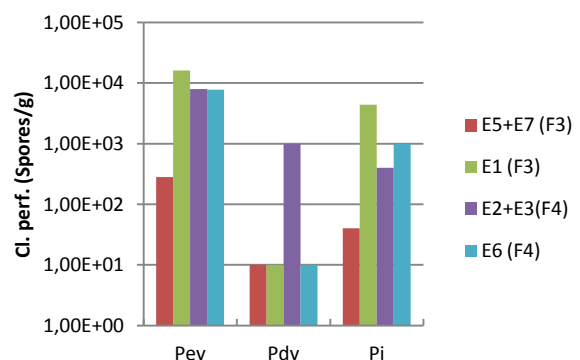


Figure 42: Comparaison des concentrations en Cl.perf. (spores/g) (matières fraîches, déchets verts et mélange des 2)

Annexe 8 : Quelques photos de TS³²



Photo 1: F1/L2 urinoir pour urine pure



Photo 2: F1/L4 urinoir pour urine pure



Photo 3: F4/L2 urinoir pour urine pur



Photo 4: F4/L4 urinoir pour urine pur



Photo 5: Utilisation de la matière carbonée E2/F3 en gobelet



Photo 6: Utilisation de la matière carbonée E1/F3 en gobelet

³² Les photos n°1 à n°6 sont pris par mon collègue M. Florent BRUN.

MASTER PROFESSIONNEL Mention « Chimie » Spécialité : « Sciences et Ingénierie de l'Environnement »	
PROMOTION : 2015-2016	DATE DE SOUTENANCE : 14 Septembre 2016
AUTEUR : Qiong HE	LIEU DE STAGE : Bureau d'étude Toilettes Du Monde, 28 Place des Arcades, 26110 NYONS
MAITRE DE STAGE ENSEIGNANT :	MAITRE DE STAGE PROFESSIONNEL :
Fabien ESCULIER Florent BRUN	Pierre-Yves COMMUNAL
TITRE :	
Caractérisation de filières d'assainissement des matières de toilettes sèches mobiles et urbaines	
MOTS CLES :	
Toilettes Sèches Mobiles, Toilettes Sèches Urbaines, Économies d'eau, Compost, Santé, Environnement, Azote, Carbone, Phosphore, Urine, Excréta, Sous-produits de Toilettes Sèches.	
RESUME :	
<p>Ce rapport présente une étude sur les filières de gestion des sous-produits issus de Toilettes Sèches afin d'en améliorer l'efficacité, à la fois en termes de valorisation agronomique de ces sous-produits et de minimisation des impacts sanitaires et environnementaux des filières. Ce stage a commencé par une analyse de la perception, par les usagers, de la gestion et des risques sanitaires liés aux Toilettes Sèches, puis une recherche sur les réglementations existantes en France et à l'étranger pour encadrer la collecte, le transport et la valorisation des sous-produits issus de Toilettes Sèches. La dernière partie présente une évaluation des filières de compostage que nous avons suivies afin de trouver des possibilités de maximiser la valorisation des nutriments présents dans les sous-produits de Toilettes Sèches.</p>	
ABSTRACT :	
<p>This report will present a study on the management and evaluation of the compost by-products from dry toilet to improve the efficiency of each sector of composting and maximizing value for carbon resources, nitrogen resource and phosphor resource. This internship began with a perception of waste management and the risks and health dry toilet (Mobile and Urban) and research on existing regulations in France and abroad to frame the collection, transport and recovery of dry toilet's production. The last part presents the assessment on the sectors of composting that we followed to identify opportunities to maximize recovery of resources nutrients present in byproducts of dry toilets.</p>	
<p>Je soussigné....., maître de stage professionnel de</p>	
<p>AUTORISE ou N'AUTORISE PAS ⁽¹⁾ : la publication des sources bibliographiques, des résumés français, anglais</p>	
<p>AUTORISE ou N'AUTORISE PAS ⁽¹⁾ : le dépôt du mémoire dans une bibliothèque</p>	
Date :	Signature du maître de stage :