



Caractérisation des pratiques et des impacts de la gestion des matières de Toilettes Sèches Mobiles

Florent Brun, Anne Delmaire, Qiong He, Steve Joncoux, Rémy Bayard,
Fabien Esculier

► **To cite this version:**

Florent Brun, Anne Delmaire, Qiong He, Steve Joncoux, Rémy Bayard, et al.. Caractérisation des pratiques et des impacts de la gestion des matières de Toilettes Sèches Mobiles. [Rapport de recherche] Toilettes Du Monde. 2017. <hal-01803134>

HAL Id: hal-01803134

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01803134>

Submitted on 30 May 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Jun
2017

Caractérisation des pratiques et des impacts de la gestion des matières de Toilettes Sèches Mobiles



Étude coordonnée par Toilettes Du Monde

En partenariat avec :

Le Réseau de l'Assainissement Écologique
L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon
Labocéa – Laboratoire public territorial
Laboratoire Eau Environnement et Systèmes Urbains

Rapport

ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Énergie

REMERCIEMENTS

Nos remerciements vont à l'ensemble des membres des comités de pilotage et de suivi pour leur implication et leurs contributions constructives.

Nous remercions également les 4 prestataires de toilettes sèches mobiles qui se sont beaucoup investis dans l'étude en participant à la collecte d'informations. D'autres membres du RAE ont aussi participé à la relecture de ce rapport et nous les remercions.

Comité de pilotage :

Isabelle DÉPORTES - ADEME
Rémy BAYARD – Laboratoire DEEP / INSA de Lyon
Catherine LOYSANCE-PAROUX - LABOCEA
Michèle LEGEAS - EHESP
Steve JONCOUX - RAE
Yannig JAOUEN - RAE
Anne DELMAIRE et Florent BRUN – TDM

Autres intervenants :

Pascale NAQUIN - PROVADEMSE / CEFREPADE
Fabien ESCULIER - LEESU
Annie GUERNION - Humusséo - RAE
Qiong HE - Stagiaire de Toilettes Du Monde
Célia CAMPAN – Service Civique à Toilettes Du Monde
Antinéa AIRIEAU - Stagiaire INSA de Lyon
Bintou OUATTARA - EHESP

Nous tenons également à remercier les personnes ayant participées au co-financement de l'étude pour TDM : Danielle Blais, Corinne Lelabousse et Vincent Martin.

CITATION DE CE RAPPORT

Auteurs : Florent BRUN et Anne DELMAIRE, Chargés de projets à Toilettes Du Monde, Qiong HE, Stagiaire au LEESU et à l'association Toilettes Du Monde, Steve JONCOUX, Coordinateur de l'étude pour le RAE, Rémy BAYARD, Enseignant-chercheur Laboratoire DEEP - INSA de Lyon, Fabien Esculier, Doctorant au LESSU.

2017. Caractérisation des matières issues des Toilettes Sèches Mobiles et des risques sanitaires des filières d'assainissement associées. 153 pages.

Ce document est diffusé par l'ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 1406C0024

Étude réalisée par Toilettes du Monde, le Réseau de l'Assainissement Écologique et l'Institut National des Sciences Appliquées et le Laboratoire Eau Environnement et Systèmes Urbains pour ce projet cofinancé par l'ADEME

Coordination technique - ADEME : DEPORTES Isabelle

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

TABLE DES MATIÈRES

Résumé	8
Abstract.....	9
Introduction	10
Partie I : État des lieux des pratiques d'assainissement des matières de toilettes sèches mobiles	11
1. Contexte de l'état des lieux	11
1.1. Généralités.....	11
1.1.1. Propos introductifs	11
1.1.2. Les toilettes sèches mobiles : genèse et définition.....	11
1.1.3. Le métier de « prestataire » de TSM	12
1.2. Les TSM : quel contexte réglementaire ?.....	12
1.2.1 La réglementation existante concernant les systèmes de toilettes sèches	12
1.2.2 Quelles autres réglementations/encadrements pertinents ?	15
1.2.3 Droit du travail associé aux TSM	16
1.3. Méthodologie de l'état des lieux des pratiques.....	16
2. État des lieux des pratiques des prestataires	19
2.1. Panel et Profil des prestataires.....	19
2.2. Le parc de TSM	21
2.3. Les prestations : prix et contenu.....	23
2.4. Type d'évènements et fréquentation	25
2.5. Présence et activité sur le site de l'évènement	26
2.6. Type de résidus et réceptacles utilisés.....	28
2.7. Vidanges et mesures d'hygiènes sur site	31
2.8. Transport des résidus issus des TSM et des urinoirs	34
2.9. Mode de gestion des résidus issus des TSM et des urinoirs	35
3. État des lieux des pratiques chez les commanditaires	39
3.1. Le profil des commanditaires et des évènements organisés	39
3.2. La perception des TSM par les commanditaires	42
3.3. Les prestations de TSM.....	43
3.4. La collecte et le stockage des matières des TSM	44
3.5. Les mesures d'hygiènes	46
3.6. Le transport et la valorisation des matières.....	46
3.7. Synthèse	48
4. Choix des filières à suivre	48
4.1. Critères et choix des filières.....	48
4.1.1. Critères de sélection.....	48
4.1.2. Filières retenues.....	49
4.2. Définition des trois filières.....	49

4.2.1.	Filière Urine Pure	49
4.2.2.	Filières « excréta + litière »	50
Partie II : Impacts sanitaires potentiels de la gestion des matières de Toilettes Sèches Mobiles (Hors usages par les particuliers)		52
1.	Contexte, objectifs, méthode.....	52
2.	Analyse de l'encadrement juridique relatif à l'assainissement en termes de prévention des risques en santé.....	53
2.1.	Les textes relatifs à l'assainissement en général	53
2.2.	Les aspects de prévention des risques sanitaires associés à ces textes	53
2.3.	Réglementation sur les Toilettes Sèches	53
2.4.	Conclusion et recommandations	54
3.	Analyse de la filière « Toilettes Sèches Mobiles » : élaboration des schémas d'exposition.....	54
3.1.	Rappel sur la filière et ses usages.....	54
3.2.	Dans le cas des TSM, les matières traitées et tamisées peuvent être valorisées à la parcelle. Élaboration des schémas conceptuels d'exposition	55
3.2.1	La collecte	55
3.2.2	La pré-vidange	57
3.2.3	Le transport	58
3.2.4	Le traitement	59
3.2.5	Valorisation	63
3.3.	Synthèse	64
4.	Analyse des risques spécifiques éventuels liés à la filière toilettes sèches mobiles	65
4.1.	Recherche bibliographique sur les agents infectieux présents dans le cadre de l'usage des TSM	65
4.1.1.	Les pathogènes à caractère réglementaire	65
4.1.2.	Centre National de Référence	66
4.1.3.	Mode de transmission	66
4.2.	Proposition d'agents infectieux pertinents à suivre	66
4.2.1.	Autres paramètres à suivre : physico-chimiques, agronomiques et pharmaceutiques	68
4.2.2.	Analyse des risques au regard des différentes expositions recensées	68
4.3.	Proposition de collecte de données supplémentaires	69
Partie III : Caractérisation des matières issues des Toilettes Sèches Mobiles et des risques sanitaires des filières d'assainissement.....		70
1.	Rappel du contexte d'analyse	70
1.1.	Généralités.....	70
1.2.	Les évènements, prestataires et filières de suivies	72
1.2.1.	Répartition évènement – prestataires	72
1.2.2.	Définition des filières	73
1.2.3.	Répartition par filière et type d'évènement	73

1.3.	Synthèse bibliographique sur les réglementations couvrant la gestion des excréta dans le monde	74
1.4.	Rapprochement avec la problématique des toilettes sèches urbaines : le projet OCAPI	75
2.	Enquête de perception de l'exposition aux risques par les usagers et professionnels.....	75
2.1.	Objet de l'enquête.....	75
2.2.	Méthodologie	75
2.3.	Principales conclusions de l'enquête.....	76
3.	Analyse des flux	77
3.1.	Dimensionnement du maillon « collecte »	77
3.1.1.	Sur les 6 évènements de l'étude.....	77
3.1.2.	Recommandations sur le dimensionnement des dispositifs de collecte.....	79
3.2.	Flux entrants et sortants des maillons « collecte », « transport » et « traitement »	79
3.2.1	Sur les 6 évènements de l'étude.....	79
3.2.2	Extrapolation à 32 évènements	80
3.2.3	Recommandations de dimensionnement sur le maillon collecte	81
3.2.4	Maillon traitement.....	81
4.	Analyses des indésirables – Modèle « MODECOM ».....	86
4.1.	La grille de tri.....	86
4.2.	Résultats d'analyse	87
4.3.	Conclusion	90
5.	Analyse de composition globale des matières	91
5.1.	Paramètres de suivies des résidus, protocoles d'échantillonnage et méthode de caractérisation	91
5.1.1.	Les paramètres suivis	91
5.1.2.	Développement du protocole	93
5.1.3.	Codification des échantillons	94
5.1.4.	Analyses de la campagne d'échantillonnage.....	95
5.1.5.	Bilan des échantillons réellement collectées	96
5.2.	Caractéristiques sur les Phases Liquides (F1 et F2).....	98
5.2.1.	Caractéristiques physico-chimiques en phase liquide (F1 et F2)	98
5.2.2.	Caractéristiques microbiologiques en phase liquide (F1 et F2).....	106
5.3.	Analyse sur les Phases Solides (F3 et F4).....	108
5.3.1.	Mesures d'activités respiratoires.....	108
5.3.2.	Caractéristiques physico-chimiques et agronomiques en phase solide (F3 et F4)	113
5.3.3.	Caractéristiques microbiologiques en phase solide (F3 et F4).....	119
5.4.	Analyse de la présence de stupéfiants	125
5.5.	Cas particuliers E8 et E9	131
5.6.	Éléments d'estimation des risques	131
5.6.1.	Maillon collecte / prévidange / transport	131

5.6.2.	Maillon traitement.....	132
5.6.3.	Maillon valorisation.....	132
5.6.4.	Synthèse d'estimation des risques	133
6.	Recommandations	133
6.1.	Rappel des résultats de la caractérisation.....	133
6.2.	Par maillons	135
6.2.1.	Maillon collecte.....	135
6.2.2.	Maillon transport.....	136
6.2.3.	Maillons traitement et valorisation.....	136
	Conclusion	139
	Références bibliographiques	140
	Index des tableaux	143
	Index des figures	144
	Sigles et acronymes	147
	Glossaire.....	148
	Tables des annexes	151

RÉSUMÉ

La toilette sèche mobile (TSM) est une toilette sans apport d'eau de dilution ou de transport ni produit chimique, qui est amenée à être déplacée et dont les matières font l'objet d'une valorisation agricole. Les matières issues des TSM peuvent être liquides et/ou solides. Elles sont considérées comme des ressources et traitées en conséquence pour participer au recyclage de la biomasse et des nutriments. Aujourd'hui, les filières de gestion des matières produites sont méconnues et ne disposent pas de cadre réglementaire.

Dans ce contexte, l'étude a permis de développer les connaissances sur le fonctionnement des filières et les impacts de la gestion des matières produites par les TSM. Pour cela, un suivi *in situ* (comprenant une caractérisation des flux et une évaluation des risques sanitaires) pendant 2 ans des 4 filières qui ont été estimées comme représentatives des pratiques en France suite à la réalisation d'un état des lieux national auprès des prestataires de TSM et des organisateurs d'événements a été réalisé.

La caractérisation des flux et des risques des matières issues des 4 filières suivies (urines pures, urines + matière carbonée, excréta + matière carbonée en plate-forme individuelle, excréta + matière carbonée en plate-forme collective) mène aux résultats suivants :

- Sur le volet sanitaire, au vu des résultats de l'étude rien de particulier n'est mis en exergue au regard des consignes et règles d'hygiène générales pour les filières « eaux usées/excréta » d'une part et de protection des travailleurs contre des poussières pouvant contenir des agents biologiques dangereux d'autre part.
- Concernant, les différents maillons des 4 filières d'assainissement suivies, plusieurs recommandations sont émises pour encadrer les pratiques de gestion des matières liquides d'un côté et des matières solides d'un autre côté.
- Des recommandations de dimensionnement des dispositifs de collecte et des flux associés sont également élaborées en fonction de la typologie des événements.
- 2 types de filières (individuelles et collectives) performantes sont identifiés pour traiter puis valoriser les matières.
- Enfin, il convient de s'interroger avec les parties prenantes concernées sur l'identification et le statut des matières de TSM afin de clarifier leur accès à des plates-formes de compostage collectives dans l'objectif d'un passage à grande échelle (comprenant les toilettes sèches urbaines).

C'est dans ce cadre que les productions de l'étude passent par la réalisation d'un set d'outils de communication sur les bonnes pratiques de l'assainissement des matières de TSM à destinations de (i) les commanditaires, (ii) les prestataires et (iii) le grand public. Ces outils sont téléchargeables en ligne sur les sites du RAE et de TDM.

Mots clés : Toilettes sèches mobiles – excréta – urine - plate-forme de compostage - hygiénisation – valorisation – filière de gestion des excréta – réglementation sanitaire – impact sanitaire

ABSTRACT

Mobile dry toilet (TSM) is a toilet without water inlet for dilution or transports even no chemicals. TSM is made to be moved and whose by-products are subject to an agricultural use. Byproducts from the TSM may be liquid and / or solid. They are considered as resources and treated accordingly to participate in the recycling of biomass and nutrients. Today, the byproducts management channels are unknown and lack of regulatory framework.

In this context, lack of knowledge about the functioning of the sector and the impact of the management of byproducts is targeted. This study aims to improve the knowledge of the in situ monitoring of 4 branches which were estimated to be representative of practices in France following the implementation of a national baseline with TSM providers and event organizers.

The overall objective of the study is to improve sanitation sector of the byproducts of mobile dry toilets. In this context, the strategy carried out was as follows:

- Study report on the condition of the sanitation practices of TSM byproducts management.
- Health risk assessment on 4 predominant practices.
- The characterization of flow and risk of 4 TSM kinds of byproducts on 4 different practices, subject of this report.
- Production of a set of communication tools on best practices of sanitation TSM byproducts.

Characterization of flow and risks of byproducts from 4 different practices (pure urine, urine + carbonaceous material, carbonaceous material in excreta on single composting platform, excreta + carbonaceous material in collective composting platform) leads to the following results:

- On the health aspect, given the results of the study nothing particular is highlighted in terms of general hygiene guidelines and rules for sectors "wastewater / excreta" on one hand and protection of workers against dust that may contain hazardous biological agents on the other hand.
- Concerning the different links of the 4 followed sanitation practices, several recommendations are made to frame liquids management practices on the one hand and solids on the other hand.
- Design recommendations for collection and associated flow devices are also being developed.
- 2 types of performing practices (individual and collective composting platform) are identified and confirmed to treat and develop the byproducts (liquid or solid).
- Finally, the study highlights a question with relevant stakeholders on the identification and the status of TSM byproducts to clarify their access to collective composting platforms.

Keywords: Mobile Dry toilets - excreta - urine - composting platform - sanitation - valuation - management sector excreta - health regulations - health impact

INTRODUCTION

En France, les toilettes sèches mobiles (TSM) se sont développées de manière importante depuis le début des années 2000. Cette filière d'assainissement des excréta a rencontré un gros succès notamment dans le milieu de l'événementiel (festival, foire, salon...) et plus récemment sur les chantiers de Bâtiment et Travaux Publics (BTP). La France est pionnière à l'échelle européenne dans le développement des toilettes sèches mobiles dans des contextes événementiels. La filière de traitement des matières produites par les TSM mobiles est en général réalisée par un processus de compostage. Les acteurs de ce domaine se structurent petit à petit, au sein du Réseau de l'Assainissement Écologique (RAE), en faisant face aux différentes problématiques rencontrées : approvisionnement en matière carbonée (nécessaire pour un bon processus de compostage), gestion des matières, gestion des volumes ou encore gestion de l'entretien et de la maintenance des infrastructures sur toute la durée de l'événement.

Ainsi, l'objectif du présent rapport est de caractériser les pratiques et les impacts de la gestion des matières de Toilettes sèches mobiles afin d'améliorer les filières d'assainissement des matières produites. Pour cela, l'ambition est de développer les connaissances nécessaires pour alimenter la mise en place d'un cadre réglementaire adapté puis de proposer des recommandations techniques et réglementaires aux acteurs de terrain concernés.

Un état des lieux des pratiques a été réalisé en 2014-2015 grâce à la consultation des prestataires de TSM et d'organismes d'événement. La caractérisation des pratiques a permis de cibler 4 filières représentatives pour la gestion des matières. Ce sont ces 4 filières qui ont été suivies pendant la période 2015-2016 auprès de 4 prestataires sur 7 événements.

Préalablement à la mise en œuvre de campagnes de terrains, une étude d'impacts sanitaires potentiels de la gestion des matières a été réalisée. Cette étude s'est basée sur des schémas d'exposition et une analyse des risques spécifiques encourus par les opérateurs de TSM. Ces travaux ont permis d'identifier pour chaque maillon de chacune des filières des indicateurs à suivre afin de caractériser les risques et impacts éventuels.

Après un rappel sur le contexte d'analyse et les analogies avec des problématiques similaires, le rapport présente les résultats de l'enquête sociologique réalisée pendant la campagne de terrain de l'été 2015, sur les perceptions de l'exposition aux risques sanitaire et environnemental par les usagers et professionnels des TSM ; ensuite les protocoles d'échantillonnage et la méthode de caractérisation sont détaillés afin de produire une analyse des flux et une analyse multicritère dont l'objectif est d'apporter en fin de rapport des éléments solides pour l'évaluation des impacts et la production de recommandations.

PARTIE I : ÉTAT DES LIEUX DES PRATIQUES D'ASSAINISSEMENT DES MATIÈRES DE TOILETTES SÈCHES MOBILES

1. Contexte de l'état des lieux

1.1. Généralités

1.1.1. Propos introductifs

Le présent rapport d'état des lieux est la première partie de l'étude « Caractérisation des pratiques et des impacts de la gestion des matières de Toilettes Sèches Mobiles ». Il fait le point sur les pratiques des structures disposant (« Prestataires ») et faisant usage (« Commanditaires ») de Toilettes Sèches Mobiles (TSM).

Il doit servir de base au ciblage des pratiques de gestion des TSM les plus représentatives et/ou les plus pertinentes à étudier sur tous les maillons de la filière : collecte, transport, traitement, valorisation. Quatre filières seront déterminées et elles feront l'objet de caractérisation, d'évaluation et d'analyses, notamment d'un point de vue sanitaire.

Les conclusions de ce rapport doivent permettre d'établir les bases de recherches scientifiques à suivre.

1.1.2. Les toilettes sèches mobiles : genèse et définition

Du début des années 2000 à aujourd'hui, l'emploi de toilettes sèches mobiles (TSM) s'est développé rapidement. Le Réseau de l'Assainissement Écologique (RAE) estime aujourd'hui à plus d'une centaine le nombre de structures proposant des services de location et d'animation de TSM en France¹.

Le RAE [1], né en 2006, regroupe des associations, des bureaux d'études, des artisans, des entreprises et des particuliers, tous actifs dans la promotion et la mise en œuvre de systèmes d'assainissement écologique. L'objectif initial du RAE est le partage et l'échange d'expérience autour d'une rencontre annuelle. Rapidement se sont mises en place des groupes de travail thématiques qui permettent de prolonger les collaborations tout au long de l'année. La « commission Loueurs » a ainsi été créée au sein du RAE pour aborder la professionnalisation des prestataires de services intervenants sur les filières des TSM.

En 2010, les professionnels de la location et de l'animation de TSM du RAE estimaient à environ 2,5 millions, le nombre de personnes ayant déjà utilisé au moins une fois une toilette sèche lors d'une manifestation.

Néanmoins, force est de constater qu'aujourd'hui les pratiques se font avec le bon sens de chacun mais elles ne sont pas clairement identifiées ou caractérisées. Par exemple, l'emploi de sciure et de copeaux pour absorber les liquides et bloquer les odeurs semble être très répandu, mais beaucoup de prestataires pratiquent également la collecte séparée des urines avec stockage en fût étanche. De fait, la composition des matières issues d'une Toilette Sèche Mobile peut varier : urine pures, urines + litière², lixiviats, fèces, excréta + litière. La définition d'une toilette sèche mobile ne peut donc pas reposer uniquement sur le dispositif mis en place pour la collecte ou la filière de traitement et de valorisation associées. En effet, si par exemple les urines pures peuvent être réintégrées à un compost, elles peuvent aussi être stockées pour être valorisées par épandage.

Dans le cadre de cette étude, nous proposons la définition suivante pour une Toilette Sèche Mobile:

« La toilette sèche mobile est une toilette sans apport d'eau de dilution ou de transport ni produit chimique, qui est amenée à être déplacée et dont les matières font l'objet d'une valorisation agricole. »

Les matières issues des TSM peuvent être liquides et/ou solides. Ils sont considérés comme des ressources et traités en conséquence pour participer au recyclage de la biomasse et des nutriments.

¹ Estimation 2014. Données du Réseau de l'Assainissement Écologique.

² La « litière » peut être composée de sciure, de copeaux, de pailles, de feuilles sèches ou d'un mélange de ces différentes matières. Elle sert aussi bien au blocage des odeurs, à la limitation de la lixiviation et à favoriser le compostage.

Ainsi, pour s'interroger sur les impacts de l'utilisation de TSM tant sur la santé des acteurs impliqués dans la filière que sur l'environnement (qualité, facteurs biogéographiques³ nuisances environnementales), il faut considérer la filière d'assainissement dans son ensemble depuis la collecte, jusqu'à la valorisation en passant par le transport et le traitement.

1.1.3. Le métier de « prestataire » de TSM

La mise en place de TSM sur un événement recevant du public recouvre différents aspects : de la simple location de matériel à l'accompagnement de l'organisateur pour une intégration des toilettes sèches tout au long de son événement, en incluant la prise en charge des matières. Les pratiques des structures proposant des TSM varient fortement : mise à disposition des cabines, entretien in situ, animation, transport, traitement...

En 2012, la « Commission Loueurs » du RAE met en place puis diffuse la «Charte des Bonnes Pratiques des Loueurs et animateurs de toilettes sèches mobiles du RAE (RAE Intestinale, s.d.)». En s'appuyant sur cette charte, il est possible de résumer les grandes étapes d'une prestation à travers les points suivants :

- Dimensionnement de l'équipement ;
- Garantie des bonnes conditions sanitaires (pour le matériel, le personnel et le public) ;
- Sensibilisation et information du public à l'utilisation des toilettes sèches ;
- Assainissement des matières collectées par compostage.

C'est dans cet état d'esprit, en s'intéressant à l'ensemble des aspects que peut couvrir le métier de prestataire de TSM, qu'a été menée la présente étude.

1.2. Les TSM : quel contexte réglementaire ?

1.2.1 La réglementation existante concernant les systèmes de toilettes sèches

▪ **Concernant les zones d'Assainissement Non Collectif (ANC)**

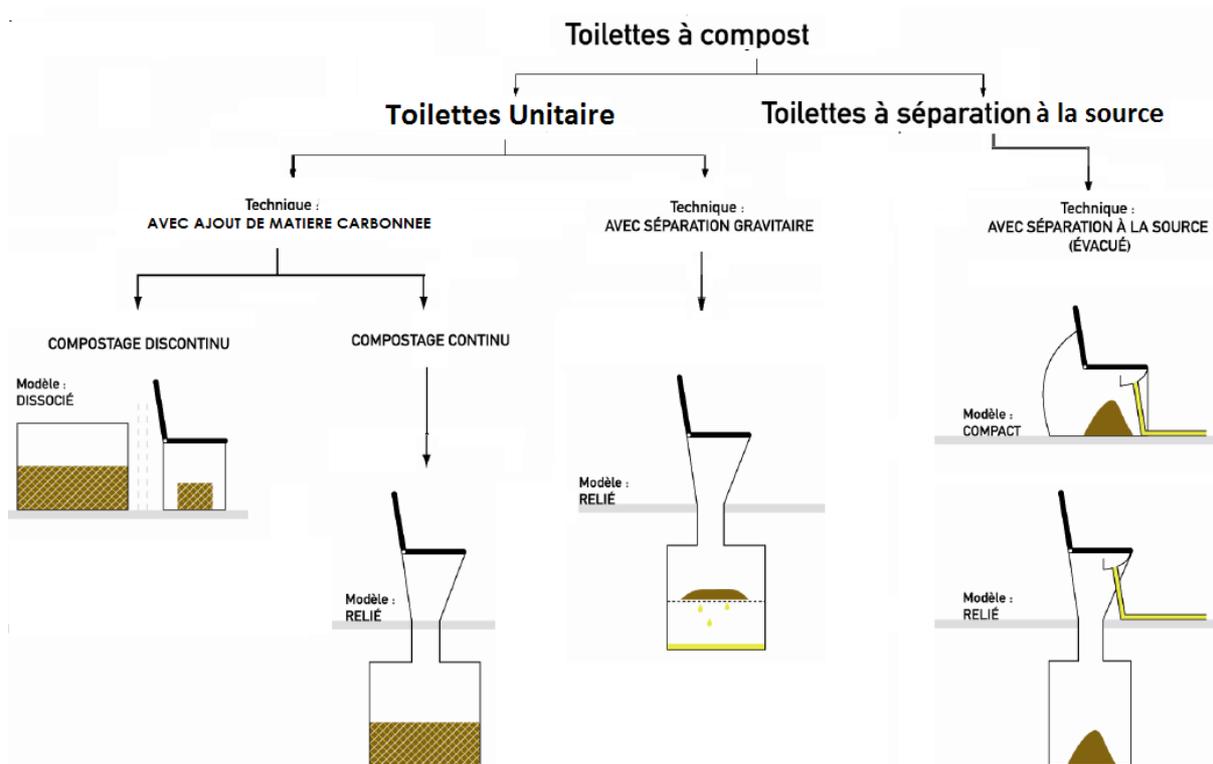
Pour l'Assainissement Non Collectif, l'Arrêté du 7 septembre 2009 fixe les prescriptions techniques applicables aux installations d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 1,2 kg/j de DBO₅. Cet arrêté consacre son **article 17** aux toilettes sèches [2].

Les toilettes sèches sont donc réglementairement autorisées pour les installations recevant une charge brute de pollution organique inférieure à 1,2 kg/j de DBO₅ ou < 20 Équivalents Habitants. Le texte précise les conditions de mise en œuvre et quelques aspects liés à la conception des dispositifs et à la gestion des matières solides et liquides. Il précise également que le traitement et la valorisation des matières doivent s'effectuer sur la parcelle et que l'aire de compostage doit être étanche. Pour accompagner ce texte il existe :

- (i) un «Guide d'accompagnement des usagers [3] » où l'on trouve une fiche de présentation des toilettes sèches (Fiche 9-8, en pages 45 et 46), voir figure ci-dessous ;
- (ii) un « Guide d'accompagnement des SPANC [4] » dans lequel on retrouve une fiche sur les points de contrôle des installations de toilettes sèches en page 43.

³ La biogéographie est une branche à la croisée des sciences dites naturelles, de la géographie physique, pédologie, l'écologie, de la bioclimatologie et de l'évolution qui étudie la vie à la surface du globe par des analyses descriptives et explicatives de la répartition des êtres vivants, et plus particulièrement des communautés d'êtres vivants





Cependant, et pour des installations de plus de 20 Équivalents Habitants en zone d'ANC, la réglementation issue de l'arrêté du 22 juin 2007 [5] mentionne uniquement des dispositifs traitant des eaux usées et rejetant un effluent liquide.

Il est à noter que dans le cadre du mandat du groupe de travail « Réglementation ANC » du PANANC sur la période 2014-2019, un projet de modification de l'arrêté prescriptions techniques du 07/09/2009 (modifié le 7 mars 2012) doit être déposé à la fin de l'année 2015. D'ores et déjà, il est proposé que l'article 17 soit modifié afin de mieux tenir compte de la diversité des dispositifs de toilettes sèches et des possibilités de gestion des eaux ménagères. Dans la continuité l'article 2 et l'annexe III de l'arrêté contrôle du 07/09/2009 modifié le 27 avril 2012, pourraient également être amendés.

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

Il n'existe pas de réglementation précise concernant les toilettes sèches.

Toutefois, la question écrite d'une élue du Morbihan au Ministre de l'Écologie, concernant des toilettes sèches en zone d'assainissement collectif a permis d'ouvrir le débat. Une réponse claire qui fait jurisprudence a été apportée le 19 avril 2011 et publiée au Journal Officiel [6] : « ce type d'installation est autorisé, y compris dans les zones d'assainissement collectif ».

▪ **Concernant les établissements recevant du public (ERP)**

À la suite de la parution de l'arrêté du 7 septembre 2009, la Direction Générale de la Santé (DGS) s'est intéressée à la question de l'installation de toilettes sèches dans les lieux publics : ERP et manifestations éphémères.

Sa position initiale était de ne pas autoriser ce type d'installation ; le manque d'informations sur ces dispositifs étant certainement à l'origine de cette restriction. En 2010, le message transmis par la DGS aux Agences Régionales de Santé (ARS) fut modifié suite à un rapport réalisé par le CSTB courant 2010⁴. La nouvelle position, beaucoup plus ouverte, lève cette interdiction sous réserve du respect d'une dizaine de recommandations :

- Des points d'eau potable pour le lavage des mains doivent être disponibles à proximité immédiate des toilettes et en nombre suffisant. Ils sont équipés de produit de nettoyage des mains et d'un dispositif d'essuyage ou de séchage ;
- Un protocole de nettoyage doit être mis en œuvre pour la gestion sanitaire des parois du conduit des WC. A minima, une inspection horaire des WC s'impose ;

⁴ Le rapport à l'origine de ces changements de position a été réalisé par le CSTB mais reste confidentiel à l'heure actuelle.



- Sur le plan de la gestion des matières récupérées, il est impératif que puisse être mise en œuvre une filière de traitement par compostage des matières fécales à des fins d'hygiénisation ;
- Les conditions de compostage des matières fécales doivent être maîtrisées :
 - ✓ stockage sur une zone étanche, avec transfert des liquides éventuellement produits vers une zone de traitement par épandage correctement dimensionnée ;
 - ✓ stockage sur une zone couverte, afin d'éviter une lixiviation importante des matières solides provoquée par les pluies ;
 - ✓ conditions de retournement fixées à 4 fois par an, afin d'augmenter la maturation du compost ;
 - ✓ apport en début de compostage de sciures de bois ou autres copeaux, dans un ratio estimé à 1 pour 1 dans le cas de matières fécales mélangées aux urines ;
 - ✓ temps de maturation du compost d'une durée de deux ans avant épandage.
- A défaut de compostage mis en œuvre selon les conditions présentées ci-dessus, toute opération d'assainissement par toilettes sèches en ERP doit être couplée à une possibilité de dépotage des matières en station d'épuration ;
- L'épandage direct des matières fécales doit être interdit.

D'une manière générale, ces recommandations sont assez cohérentes avec la pratique des toilettes sèches de type TLB (Toilette à Litières Bio-maîtrisée)⁵, notamment pour des installations éphémères, mais ne couvrent pas (ou moins bien) la gestion des autres types de toilettes sèches (systèmes à gros volume et/ou à séparation notamment).

▪ **Quels autres textes ou références sur les toilettes existent?**

Il est important de mentionner l'article R 111-3 du Code de l'Urbanisme [7] qui précise que « tout logement doit (...) être pourvu d'un cabinet d'aisances intérieur au logement et ne communiquant pas directement avec les cuisines et les salles de séjour (...) ».

La section III des **Règlements Sanitaires Départementaux**⁶ s'intéresse quant à elle aux « Dispositions relatives à l'équipement sanitaire ». Il y est notamment précisé que :

« Dans les établissements ouverts ou recevant du public doivent être aménagés, en nombre suffisant et compte tenu de leur fréquentation, des lavabos, des cabinets d'aisances et urinoirs. Ils doivent être d'un accès facile ; les cabinets et urinoirs ne doivent jamais communiquer directement avec les salles de restaurants, cuisines ou resserres de comestibles. Les locaux sanitaires doivent être bien éclairés, ventilés, maintenus en parfait état de propreté et pourvus de papier hygiénique. »

Aucun de ces deux textes ne s'oppose donc à l'installation de toilettes sèches dans un bâtiment recevant du public. Il convient de mentionner que les questions sanitaires relatives aux toilettes dans des contextes évènementiels et ponctuels ne sont pas soulevées dans ces documents.

D'autre part, il existe un manque de connaissance du à un défaut d'analyse des pratiques existantes qui ne permet pas de se positionner correctement sur des recommandations de bonnes pratiques de gestion des matières issues des TS Mobiles. La DGS⁷ a mis en place en 2013 un groupe de travail sur cette question, dans lequel se retrouvent les acteurs concernés par les TS mobiles (MEDDE⁸, DGS, Agences de l'Eau, FNSA⁹, RAE, CSTB¹⁰). La présente étude doit venir apporter du contenu scientifique en vue de recommandations.

⁵ Toilettes sèches avec ajout de sciure et copeaux après chaque passage et aire de compostage extérieure.

⁶ Un exemple ici http://www.ars.iledefrance.sante.fr/fileadmin/ILE-DE-FRANCE/ARS/1_Votre_ARS/2_Organisation/2_Delegations/78_Reglement_sanitaire_departemental.pdf

⁷ Direction Générale de la Santé

⁸ Ministère de l'Écologie du Développement Durable et de l'Énergie

⁹ Fédération Nationale des Syndicats d'Assainissement

¹⁰ Centre Scientifique et Technique du Bâtiment



1.2.2 Quelles autres réglementations/encadrements pertinents ?

▪ Normes NF U44-095 et NF U44-051

Concernant, les matières de toilettes sèches mobiles, leur absence dans la réglementation (notamment la caractérisation sémantique) fait qu'il est difficile de les assimiler à un cadre spécifique.

Ces matières pourraient être destinés vers :

- Le compostage de matières d'intérêt agronomique issues du traitement des eaux encadré par la **norme NF U44-095** ;
- Les amendements organiques comportant les fumiers et déjections animales avec ou sans litières et avec ou sans compostage, qui sont cadrés par la **norme NF U44-051**.

Cependant, selon la technique de collecte, le traitement divergera et le produit final aussi. Ainsi, des produits liquides ou secs peuvent être obtenus et de par leur composition n'avoir aucun intérêt à être rattachée à l'une de ces normes/réglementations.

▪ Réglementation – installation de compostage

Comme vu sur l'illustration du guide des usagers, les toilettes sèches, quelle que soit la manière de collecter les urines et les fèces, nécessitent un traitement par compostage, de tout ou partie des produits collectés. Ainsi, s'intéresser aux réglementations spécifiques liées au compostage est nécessaire pour parfaire le tour d'horizon pouvant s'appliquer aux matières issues des TSM.

Les installations de compostage relèvent :

(i) du **Règlement Sanitaire Départemental (article 158)** ;

(ii) de l'**arrêté du 7 janvier 2002** relatif aux prescriptions générales applicables aux installations classées soumises à déclaration sous la **rubrique n° 2170** : " engrais et supports de culture (fabrication des) à partir de matières organiques " et mettant en œuvre un procédé de transformation biologique aérobie (compostage) des matières organiques ;

(iii) de l'**Arrêté du 22 avril 2008** fixant les règles techniques auxquelles doivent satisfaire les installations de compostage ou de stabilisation biologique aérobie soumises à autorisation en application du titre I du livre V du code de l'environnement.

Volume des dépôts	3 à 5 m ³		50 m ³	
Production du site			1 tonne/jour	1 à 10 tonne/jour
Réglementation applicable	Sans	Règlement Sanitaire Départemental : Prescriptions applicables aux activités d'élevage et autres activités agricoles (i)		Règles techniques des installations classées pour la protection de l'environnement
Autre disposition	Sans	Sans	Déclaration préalable en mairie	Soumises à déclaration (ii) Soumises à autorisation (iii)

Figure 2: Cadre réglementaire français actuel en fonction des volumes de matières transportées et traitées [8]

▪ Réglementation déchets

La gestion des déchets a d'abord été régie par les deux principaux textes de la loi du 15 juillet 1975, liée directement aux déchets, et la loi du 19 juillet 1976 relative aux Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE). Ces textes ont ensuite été codifiés sous forme de Code de L'environnement (ordonnance 2000-914 du 18 septembre 2000) qui est composé de 2 parties législative et réglementaire :

- Le livre V titre I de la partie législative traite des ICPE ;
- Livre V Titre IV relatif aux déchets.

Chaque producteur de déchets, qu'il s'agisse d'une collectivité locale ou d'un industriel est responsable de ses déchets, et des conditions dans lesquelles ils sont collectés, transportés, éliminés ou recyclés (article L. 541-1).

Caractérisation des matières issues des Toilettes Sèches Mobiles et des risques sanitaires des filières d'assainissement



Ainsi, l'activité de transport et collecte prend, en France, la forme d'une déclaration auprès du préfet du département ou se situe le siège de l'entreprise. Les conditions de déclaration – valable 5 ans – sont mentionnées aux articles R.541-50 et suivants du code de l'environnement. Elle est nécessaire dès lors que la quantité transportée dépasse, par chargement, 0,1 t de déchets dangereux et 0,5 tonne pour les autres déchets.

Il est à noter que certains prestataires acquièrent l'autorisation préfectorale pour transporter plus de 500 kg de matières de TSM. Par déduction, cela assimilerait ces matières à des déchets et pourrait alors s'envisager l'homologation et le plan d'épandage.

▪ **L'utilisation via un plan d'épandage**

Le décret n° 97-1133 du 8 décembre 1997 [9] relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées définit les conditions dans lesquelles le retour au sol des boues peut être réalisé sur des sols agricoles ou forestiers. Il établit les règles générales d'hygiène et toute autre mesure propre à préserver la santé de l'homme.

L'arrêté de janvier 1998 [10] fixe des «valeurs seuils» maximales en polluant tels que les ETM, CTO, des paramètres physico-chimiques et microbiologiques sur les boues de STEP et définit le périmètre d'épandage sur les sols agricoles (sur la base d'analyses de sol) et les délais de réalisation des épandages.

De même pour l'arrêté du 2 février 1998 [11] qui décrit les modalités de réalisation de l'épandage des boues issues d'ICPE (Installation Classée pour la Protection de l'Environnement) et précise le contenu de l'étude de sol préalable, les doses maximales admissibles afin d'éviter les effets nocifs sur les sols, la végétation, les animaux et l'homme, tout en encourageant leur utilisation correcte et la notion de protection de l'environnement.

1.2.3 Droit du travail associé aux TSM

Dans le cadre de la location de TSM, du personnel est requis pour la mise en place des installations, puis pour la collecte, le transport, le traitement et la valorisation des matières. Le personnel peut être soit bénévole soit salarié et dans ce dernier cas, il est soumis au droit du travail (DIRRECTE). Aujourd'hui l'activité n'est rattachée à aucune convention spécifique et il n'est pas clair de savoir si une convention existante peut s'appliquer. Par exemple, est-il pertinent que le personnel soit vacciné contre la leptospirose ? Le volet sur les risques sanitaires apportera peut-être une réponse.

Conclusions :

Nous constatons donc qu'hormis les recommandations émises par la DGS aucune réglementation explicite n'encadre les techniques de toilettes sèches mobiles pour des événements ponctuels ni les filières relatives à la gestion de leurs matières.

1.3. Méthodologie de l'état des lieux des pratiques

Pour réaliser cet état des lieux, nous avons cherché à construire une base de données «Prestataires » et une autre « Commanditaires ». Pour cela nous nous sommes appuyés sur les contacts et effets « boule de neige »¹¹ des membres du RAE ainsi que des collectifs de festivals (AER en région PACA, collectifs des festivals bretons).

Pour collecter et analyser les données techniques et quantitatives en rapport avec les pratiques des prestataires, il nous a paru important en amont de :

- Pré-identifier certaines pratiques courantes, pour affiner les questions, par le biais d'enquêtes personnalisées à certains prestataires de TSM, membres du RAE, et d'échanges avec les plates-formes de festivals ;
- Mobiliser les prestataires du RAE sur la finalité de l'étude ;
- Réaliser une identification des différents profils de commanditaires.

Suite à ces échanges avec le RAE et les plates-formes de festivals, la méthodologie d'enquête et d'échantillonnage a été adoptée. Elle se décline sur 2 types d'enquêtes de terrain à réaliser :

¹¹ Nous avons demandé à nos contacts de diffuser le questionnaire auprès de leurs propres contacts, et ainsi de suite...



- L'une, avec les prestataires des Toilettes Sèches Mobiles ;
- L'autre, avec les commanditaires qui nécessitent une intervention de tiers pour équiper un événement en Toilettes Sèches Mobiles.

Le contenu des questionnaires (prestataires et commanditaires) a été rédigé par TDM avec l'implication d'une stagiaire et de la chargée de projet. Les questionnaires ont ensuite été validés en collaboration avec le RAE et les plates-formes de festivals et diffusés en partenariat avec eux.

Ainsi, pour mener à bien cet état des lieux, les activités suivantes ont été réalisées:

- Mobilisation des acteurs relais (RAE, plate-forme de festivals) ;
- Cadrage de la méthodologie ;
- Identification des prestataires et des commanditaires sur l'ensemble de la France métropolitaine ;
- Rédaction puis diffusion des questionnaires d'enquêtes ;
- Dépouillement des questionnaires et traitement des données ;
- Analyse des résultats et recommandations ;
- Présentation des résultats au sein du RAE ;
- Partage du rapport d'étude avec les partenaires du projet.

Le recensement a permis d'identifier :

- ✓ **72 structures réalisant une activité de prestation** de Toilettes Sèches Mobiles (Prestataires) ;
- ✓ **81 structures recensées comme utilisant des toilettes sèches mobiles** pour le ou les événements qu'elles organisent (Commanditaires).

Le fait qu'il y ait un peu moins d'une centaine de prestataires de TSM recensés en France paraît cohérent (NB : certaines structures ont pu échapper à notre criblage). L'identification des commanditaires a été beaucoup plus difficile. Ceci est notamment dû au fait que les prestataires ne divulguent pas facilement leur carnet d'adresses. D'autre part et comme nous le verrons par la suite, certains événements sont récurrents (festivals notamment), tandis que d'autres sont uniques et ponctuels (mariages, chantiers). Le nombre de commanditaire est certainement bien plus élevé que celui présenté ici.

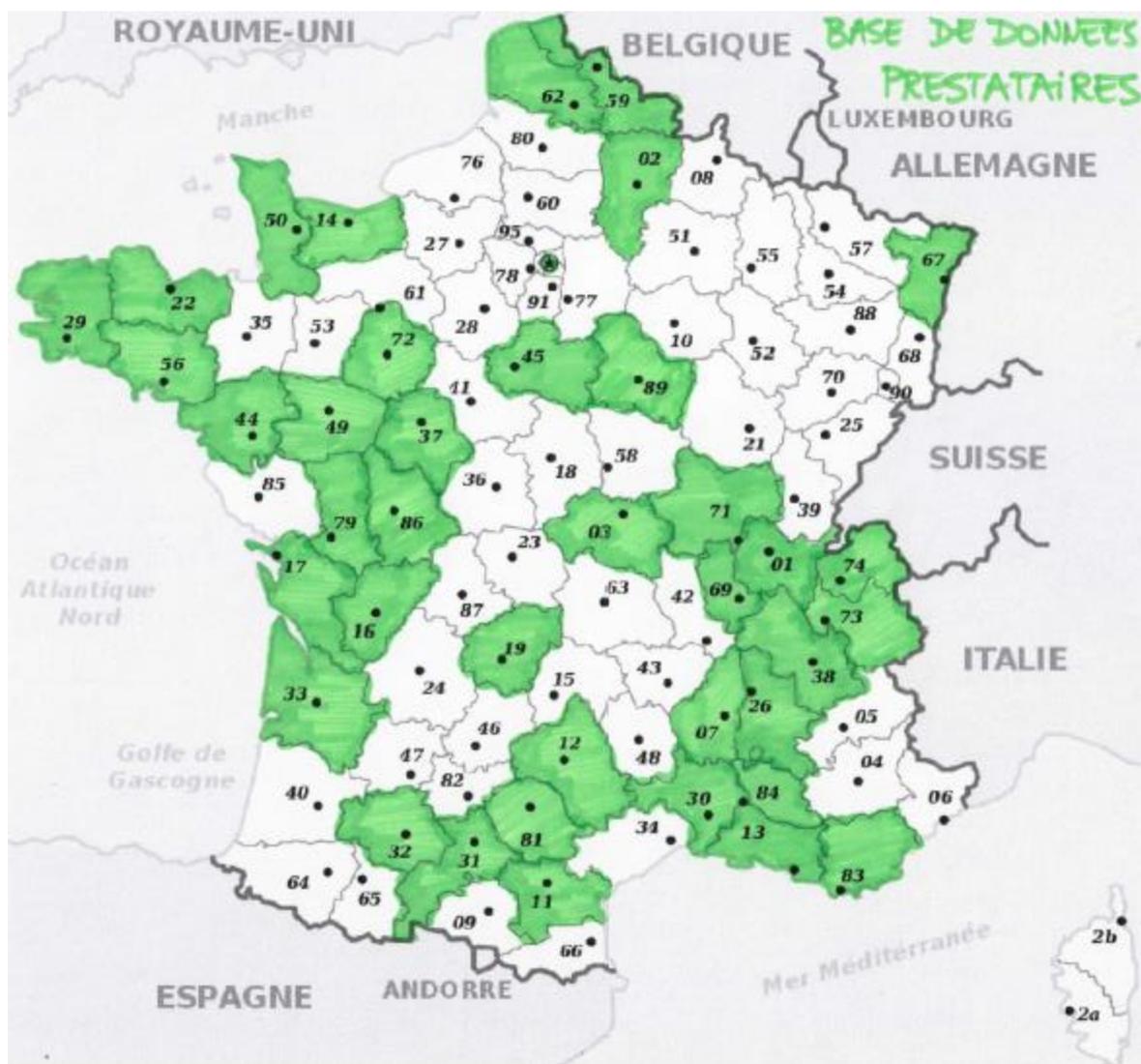


Figure 3: Prestataires de TSM recensés dans les départements de France métropolitaine

Les questionnaires des enquêtes ont couverts les thèmes suivants :

Questionnaire PRESTATAIRE (voir *Annexe 1*)

- ❖ Profil de la structure
- ❖ Existence de partenariats
- ❖ Type de prestations, type d'événements
- ❖ Moyens de collecte des matières sur site (collecte, contenant, stockage temporaire, hygiène)
- ❖ Modes de transport des matières
- ❖ Modes de traitements des matières
- ❖ Type de valorisation

Suite au premier questionnaire prestataire, un second a été envoyé au même panel afin de préciser les pratiques de transport, de traitement et de valorisation en fonction des types de matières collectées (urine pure, urine + litière, fèces + litière ou excréta + litière).

Sur 72 prestataires recensés, 40 ont répondu au premier questionnaire et 29 ont répondu au complément d'information. La répartition des répondants en fonction des types de matières produites est sensiblement la même que dans le questionnaire principal. Ces résultats complémentaires seront présentés sous la forme d'encadrés afin de les distinguer des résultats principaux.

Questionnaire COMMANDITAIRE (voir *Annexe 1*)

- ❖ Profil de la structure
- ❖ Typologie des événements
- ❖ Type d'assainissement mis en place
- ❖ Motivation pour les TSM
- ❖ Type de prestations externe
- ❖ Moyens de collecte des matières sur site (collecte, contenant, stockage temporaire, hygiène)
- ❖ Modes de transport des matières
- ❖ Modes de traitements des matières
- ❖ Type de valorisation

Sur 82 commanditaires recensés, nous avons obtenu 22 réponses.

Lors du dépouillement et du traitement des données, nous nous sommes rendu compte que certains questionnaires ont été remplis de manière non exhaustive que ce soit par les prestataires ou par les commanditaires. Nous avons donc pris des précautions d'analyse des résultats, en particulier pour les commanditaires, qui semblent peu informés du fonctionnement des TSM, laissant quelques questions sans réponse.

Finalement, par l'analyse de ces questionnaires, 4 types de filières représentatives des pratiques actuelles vont être définies en fonction de leur représentativité sur l'ensemble du territoire français métropolitain.

2. État des lieux des pratiques des prestataires

2.1. Panel et Profil des prestataires

La diffusion des questionnaires a été réalisée à partir des listes de contacts du RAE et de TDM en demandant à chacun des membres de diffuser le questionnaire dans son réseau propre (effet boule de neige). Sur la base des 72 contacts initiaux, 40 structures ont répondu au questionnaire (voir *Annexe 1*), soit un taux de retour de 56%. Malgré ce bon taux de retour, la taille de notre population mère et de notre échantillon ne nous permettent ici que de donner les tendances majoritaires les plus représentatives des pratiques des prestataires. Les données suivantes doivent donc être comprises comme des ordres de grandeurs.

Parmi les 40 répondants au questionnaire principal, 19 structures sont membres du RAE, soit la quasi-totalité des 22 adhérents au réseau, 16 structures ne sont pas adhérentes au RAE et 5 structures sont en cours d'adhésion.

Les prestataires ayant répondu au questionnaire, sont pour la plupart soit les gérants de leur entreprise soit un membre du bureau pour les structures associatives. Ils ont majoritairement entre 35 et 65 ans (22 répondants), et 16 d'entre eux ont entre 20 et 34 ans. Seulement deux répondants ont plus de 65 ans. Pour les 2/3 tiers d'entre eux, la location de TSM est leur unique activité professionnelle.

Profil majoritaire des prestataires de TSM

- Une entreprise (SA, SCOP ou autoentrepreneur) ;
- En activité depuis 5 à plus de 10 ans, (à nuancer de par la probable sous-représentation des «jeunes structures» ici du fait qu'elles ne sont pas encore intégrées dans le réseau) ;
- Travaillant à l'échelle régionale et en collaboration (40) avec d'autres prestataires ainsi que des structures de compostage et de valorisation des déchets.

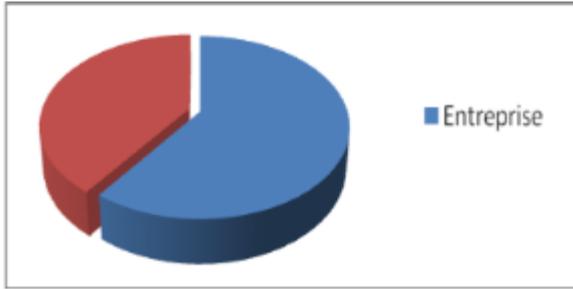


Figure 4: Type de prestataire

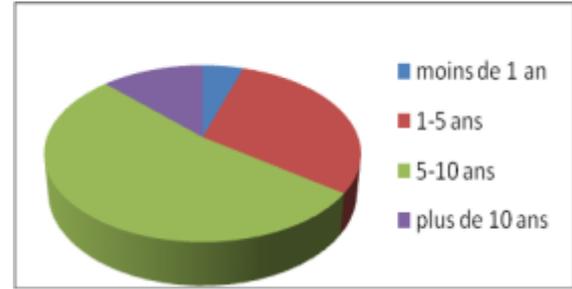


Figure 5: Durée d'activité des prestataires

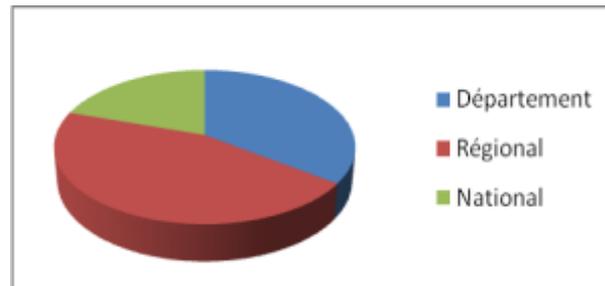


Figure 6: Zone d'intervention des prestataires

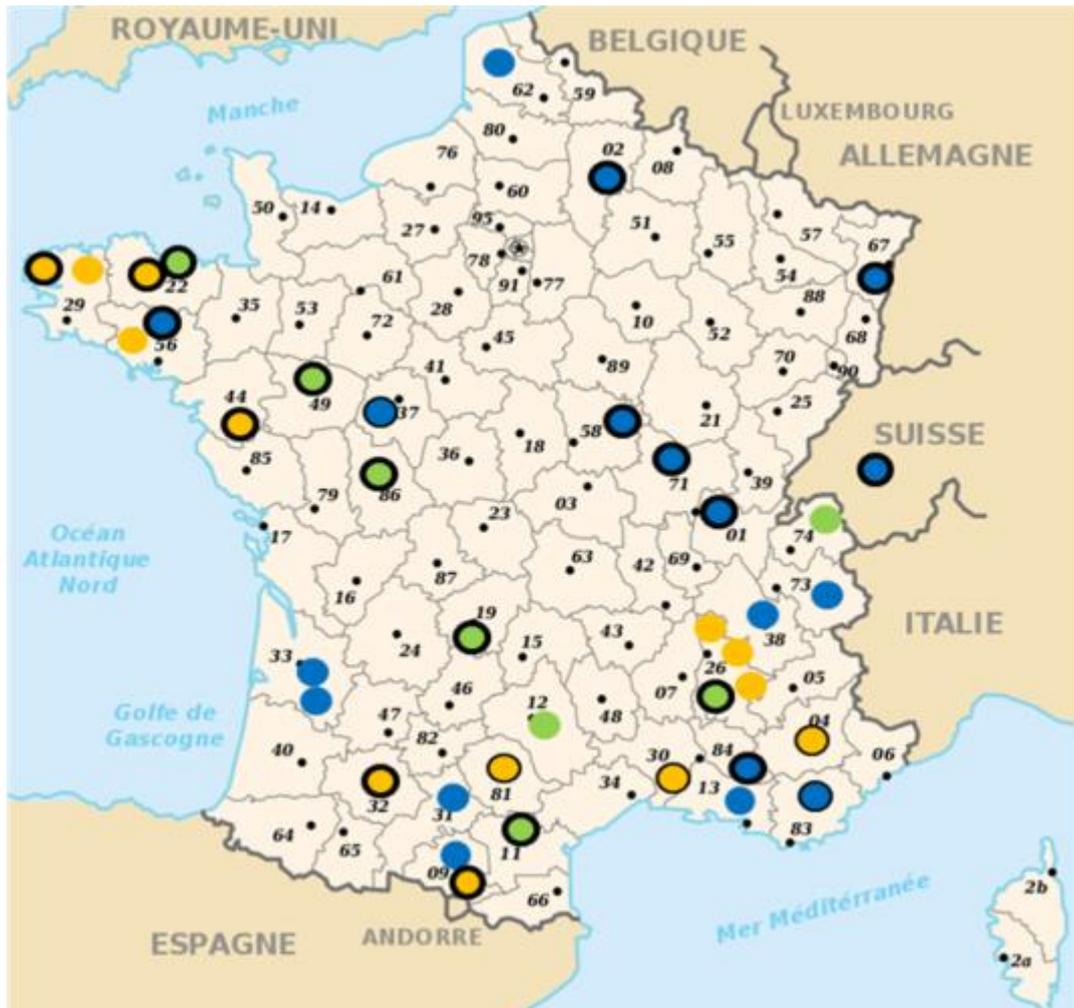
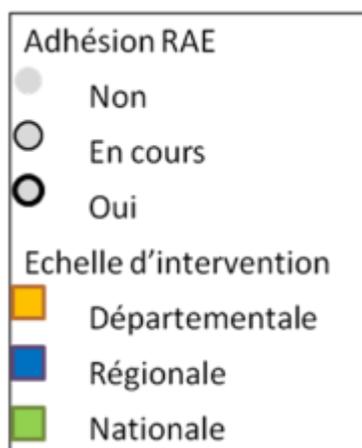


Figure 7: Carte représentant la localisation des enquêtes par département, leur échelle d'intervention et leur statut dans le RAE_2015



Concernant la préoccupation principale des prestataires, elle est d'abord d'ordre environnemental, mais pour 28 d'entre eux la production de compost de même que l'éthique font partie des engagements majeurs de la vie de leur structure. Ainsi, on retrouve l'économie comme très peu représentative de leurs préoccupations, malgré une majorité d'entreprise dans le panel des répondants.

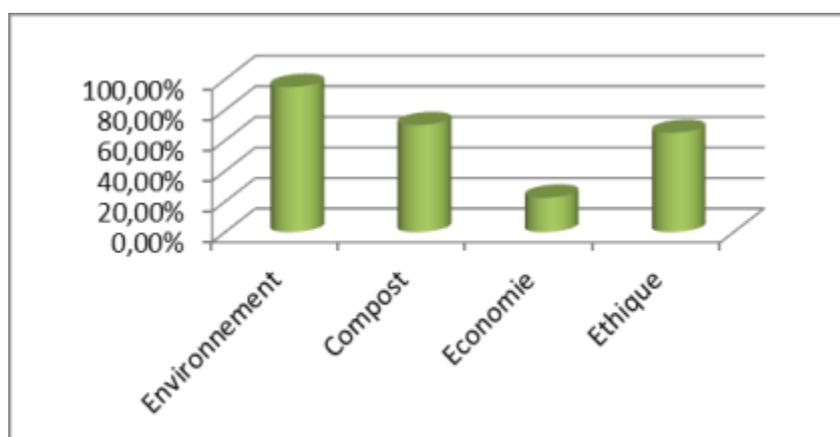


Figure 8: Préoccupations des prestataires

2.2. Le parc de TSM

Les premiers éléments de réponse concernant les pratiques des prestataires portent sur le parc de TSM. En cumulant l'ensemble des équipements des répondants on obtient un **parc global de 750 TSM et 531 urinoirs** sur la France hexagonale, répartis tel que suit :

Parc de TSM en France – Recensement

- 637 Toilettes à Litière Bio-maîtrisée (TLB¹²)
- 96 TLB pour personnes à mobilité réduite (PMR)
- 529 Urinoirs pour homme
- 2 Urinoirs pour femme (1 seule structure la propose)
- 17 Toilettes à séparation (3 structures en proposent)

L'équipement moyen d'un prestataire comprendrait : 16 TLB + 3 PMR et 18 urinoirs pour hommes.

Cette moyenne cache cependant un écart important entre les plus petites structures ayant 1 seule cabine de TLB, de PMR et d'urinoir, et les plus gros prestataires possédant 70 cabines, une dizaine de PMR et une centaine d'urinoirs. L'échantillon de répondants comprend toutefois une majorité de « petits » prestataires (14 sur 40) et peu de très gros prestataires (2 sur 40) comme le montre le graphique suivant sur la répartition des répondants par nombre de TLB.

¹² Dans ce contexte de toilettes sèches mobiles, une TLB est une cabine de toilette sèches, qui collecte les excréments (urine + matières fécales) auxquels est rajouté de la litière (sciure/copeaux) après chaque usage, dans un contenant d'au moins 80 litres. C'est ce mélange excréments + litière qui est traité par compostage dans la suite de la filière.

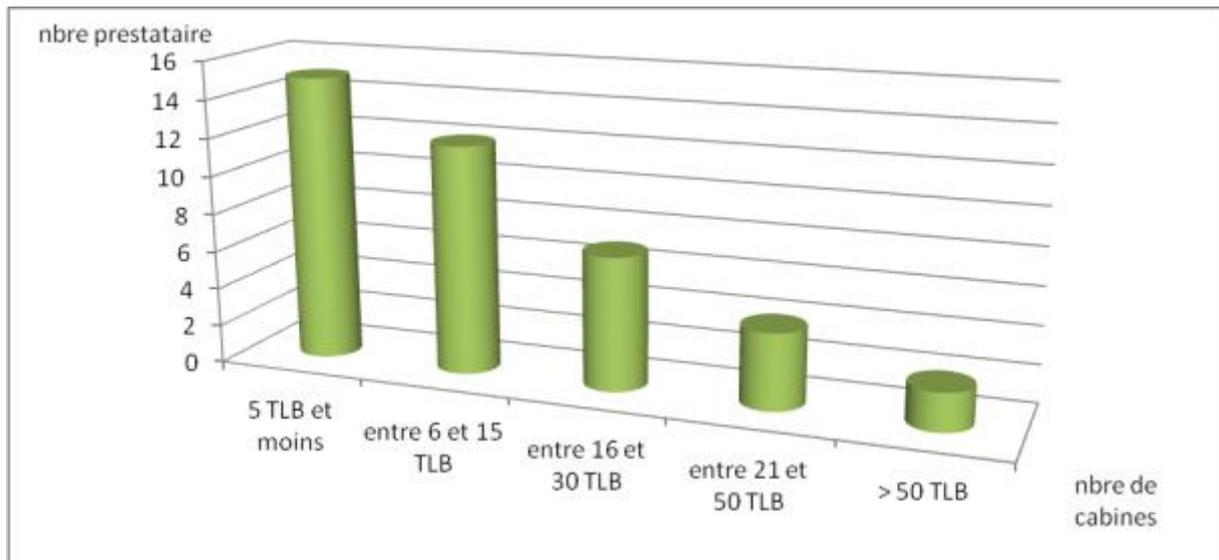


Figure 9: Répartition des prestataires par nombre de cabines de TLB

Les cabines sont pour l'essentiel des structures :

- démontables ;
- construites en bois ;
- avec des sièges en bois.

Mais, l'on peut trouver également des cabines revêtues de bâche ou de tissus ; les sièges peuvent être en plastique et les cabines peuvent être pour ¼ des prestataires, indémontables et sur roulettes.

Les cabines sont bien équipées pour le respect des règles sanitaires et le confort des usagers. Au moins 85% comprennent une poubelle, un verrou et de la lumière, et plus de 75 % affichent un mode d'emploi ludique à destination des usagers.



Figure 11: Cabine en bois démontable, TLB accès PMR. Photographie : Humusséo



Figure 10: Urinoirs. Photographie : TLB du Rhône



Figure 12: TLB en bois, démontable. Photographie : La case de l'Anethon



Figure 13: Toilettes à séparation à la source sur roulettes. Photographie : Florent Brun



Figure 14: Cabines TLB et urinoirs en tissu, démontables. Photographie : Les Gandousiers

2.3. Les prestations : prix et contenu

Le prix des prestations pour les organisateurs d'événements se situe entre 100 et 150 euros pour 16 d'entre eux; il est inférieur à 100 euros pour 15 d'entre eux et supérieur à 150 pour le reste. Ces variations de prix dépendent des prestataires, des types d'événements et du contenu de la prestation.

Dans plus de 80 % des cas la prestation de base comprend :

- la mise à disposition des cabines ;
- leur installation ;
- les fournitures nécessaires à leur bon fonctionnement (litière¹³, papier toilette, lave main, produits écologiques de nettoyage, seaux, ainsi que des pelles et gants).

¹³ Par litière nous entendons, des matières carbonées sèches, de type sciure/copeaux, qui ont pour objectif d'absorber les liquides et les odeurs et de stabiliser les tas de matières fécales. Terme identique à celui employé en contexte domestique.



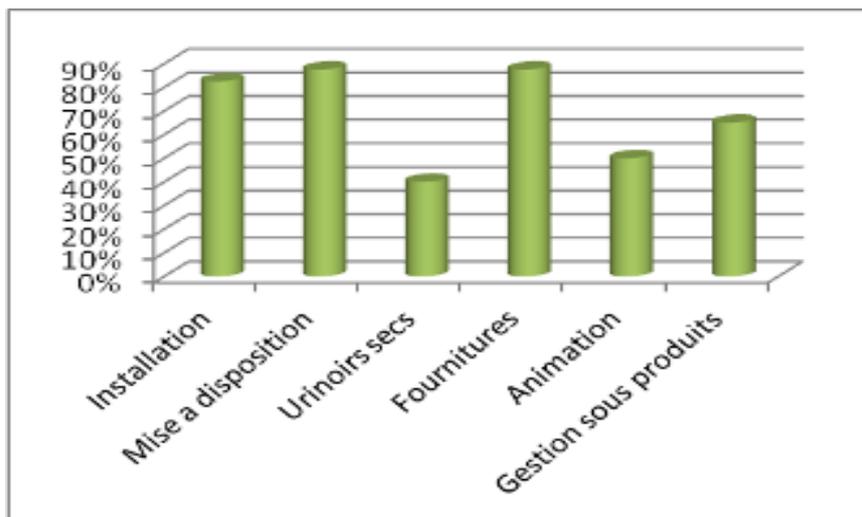


Figure 15: Services inclus dans la prestation de base

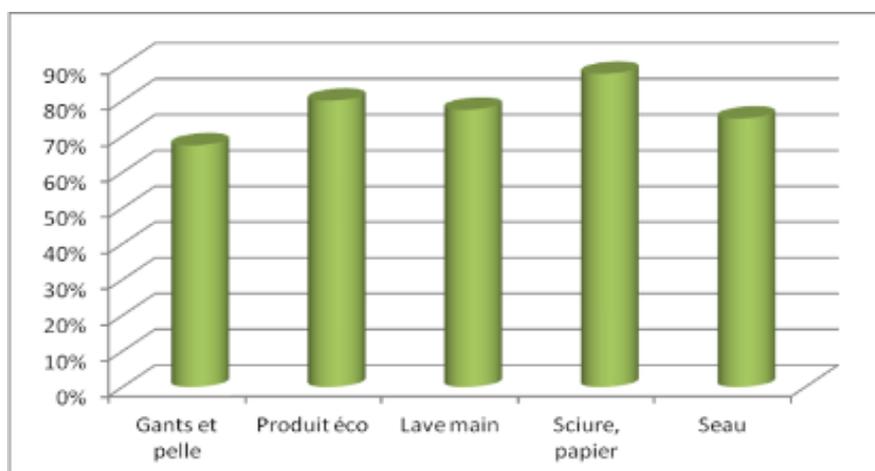


Figure 16: Équipements mis à disposition sur site

Autres prestations

○ La gestion des matières

La gestion des matières pendant et après l'évènement est incluse dans la prestation de base de 65 % des répondants (soit 26 structures) et fait l'objet d'une prestation complémentaire pour 25 % (soit 10 structures). Ainsi seulement 4 répondants ne proposent pas la prise en charge des résidus dans leur activité. Il faut préciser ici que ces derniers sont tous non-membres du RAE et ne se conforment pas à la « charte des bonnes pratiques ».

○ Urinoirs

La mise en place d'urinoirs secs est comprise dans la prestation de base pour 16 des structures et vient en complément pour 14 d'entre elles. Cela s'explique par le fait que tous les types d'évènements ne nécessitent pas d'installation d'urinoirs secs comme c'est le cas des évènements de petites tailles en journée par exemple dont les débits de boissons sont plus faibles.

○ Litières

Les sciures et copeaux, principales litières utilisées dans les TSM après chaque passage aux toilettes, proviennent essentiellement de menuiseries (44%, soit 25 réponses), de scieries (42% soit 24 réponses), et de magasins spécialisés (14% soit 8 réponses). Le taux de réponses très faibles concernant les volumes et coûts des matières carbonées ne permet pas d'obtenir des données fiables sur ces aspects.

2.4. Type d'évènements et fréquentation

Ce sont les festivals qui sont les premiers commanditaires des prestataires de TSM. En effet à la question « Classez ces évènements *selon leur importance* dans vos activités », les festivals sont le plus souvent cités, suivi des évènements « culturels », « ponctuels » et « sportifs ». Les « chantiers » sont systématiquement cités en dernier. Ces résultats sont représentés par l'histogramme bleu sur le graphique ci-dessous.

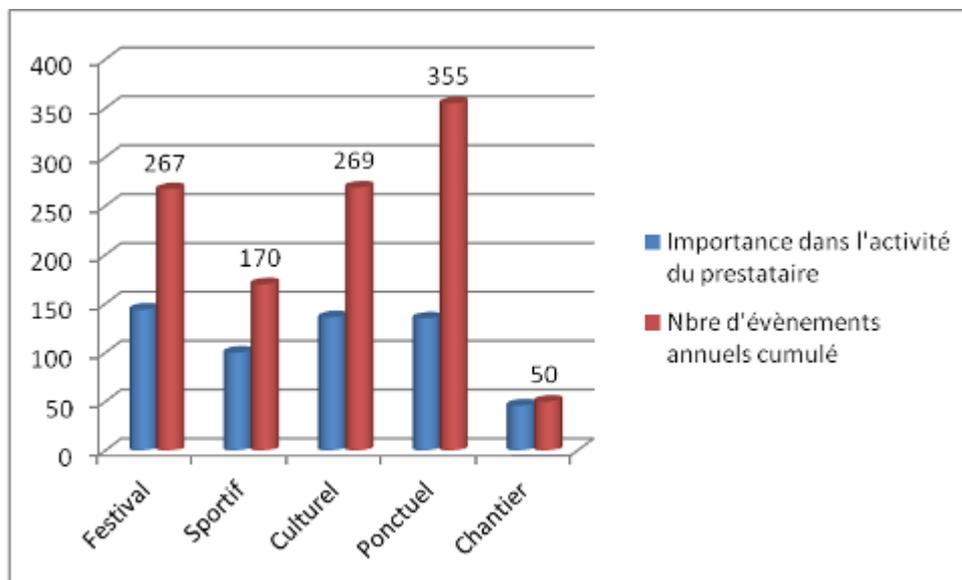


Figure 17: Type et nombre d'évènement¹⁴

En revanche le classement diffère lorsque l'on cherche à connaître le nombre de prestations annuelles (histogramme rouge) en fonction du type d'évènement. En effet, en cumulant les réponses, les 40 prestataires ont réalisé 1 111 prestations sur une année et paradoxalement, ce sont les évènements « ponctuels » (comme les mariages, c'est-à-dire des évènements privés et/ou familiaux) qui sont les plus nombreux suivi des évènements « culturels » et « festivals ».

Sur les 1 111 prestations annuelles recensées, il existe une grande différence entre « petit » prestataire et « gros » prestataire. La moyenne mathématique donne 27 locations annuelles par répondant. L'écart est cependant important entre les petites structures ne faisant qu'une seule location annuelle et les plus grosses pouvant réaliser jusqu'à 125 locations à l'année. c. La médiane de cette série statistique, à 22,5, nous informe que 50 % des répondants louent moins de 22,5/ans tandis que les 50% autres font entre 22,5 et 125 locations annuelles. Cela confirme bien que beaucoup de prestataires sont de taille petite/moyenne puisque plus de 50% d'entre eux sont en dessous de la moyenne mathématique égale à 27 locations annuelles.

Prestations annuelles disposant de TSM- recensement de 1111 prestations :

- 267 festivals
- 170 événements sportifs
- 269 événements culturels
- 355 événements ponctuels
- 50 chantiers

¹⁴ L'indice de fréquence est calculé à partir de la réponse à la question 23 du questionnaire « prestataire » : « Classez ces évènements selon leur importance dans vos activités ».



Figure 18: Événement sportif. Photographie : Aquaterre

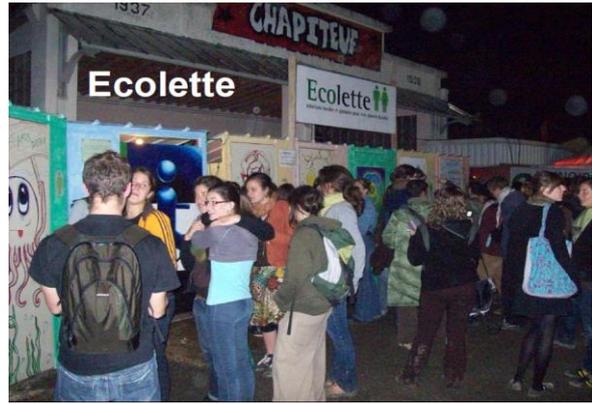


Figure 19: Festival. Photographie : Ecolette



Figure 22: Festival. Photographie : Les copeaux d'abord



Figure 20: Évènement culturel. Photographie : TLB du Rhône



Figure 21: Évènement culturel. Photographie : Toilettes du Monde

2.5. Présence et activité sur le site de l'évènement

Les prestataires sont systématiquement présents sur le site de l'évènement pour 16 d'entre eux. Seulement 4 répondants ne sont jamais présents et pour 8 d'entre eux la présence est variable selon le type d'évènement (présence systématique en festival et jamais sur les évènements ponctuels tel que les mariages par exemple).

Personnel présent sur site :

- Pour plus de la moitié des structures la présence sur site concerne le plus souvent moins de 2 personnes.
- 10 prestataires ayant répondu ont fréquemment de 2 à 5 personnes sur le site des évènements.

- 3 structures ont entre 5 et 10 personnes présentes.
- Seulement une structure répondant mobilise plus de 10 personnes.

Ces données corroborent le fait du grand nombre d'événements de petite taille et montrent qu'ils nécessitent moins de présence humaine pour la gestion et l'animation des TSM dans ces cas-là.

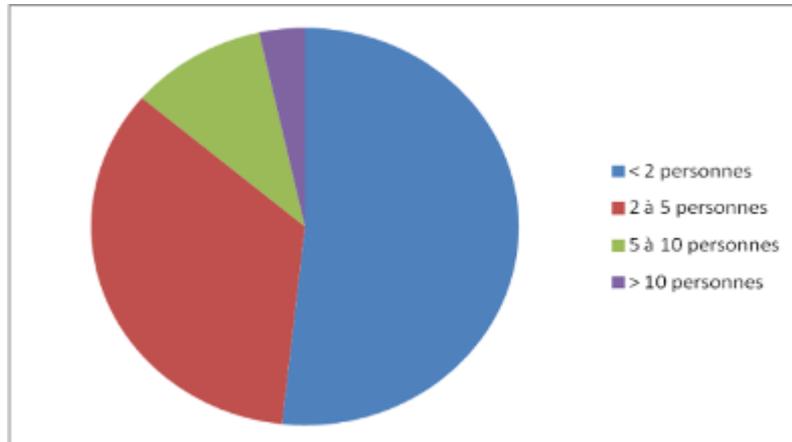


Figure 23: Nombre de personnes présentes sur site

Le rôle des employés sur site se centre autour de la gestion des TSM pour les 2/3 des prestataires. La sensibilisation est prise en charge par les animateurs pour la moitié des structures. Elle vient toujours en complément de la mission de gestion à l'exception d'une structure pour qui les employés peuvent ne faire que de la sensibilisation. Cette activité est comprise dans la prestation de base de la moitié des prestataires (voir Figure 15). Elle prend également la forme de panneaux explicatifs (80 % des cas) ou de stands d'information pour 23 des répondants.



Figure 25: Animation autour des TSM. Photographie : Aquaterre



Figure 24: Panneaux explicatifs. Photographie : Les Gandousiers

2.6. Type de résidus et réceptacles utilisés

TYPE DE RÉSIDUS ISSUS DES TSM ET DES URINOIRS

Les matières provenant des TSM sont variables dans leur composition : urines pures, urines + litière, fèces + litière, excréta + litière.

Pour plus de 90% des structures répondantes et équipées de toilettes à litière Bio-maîtrisée, les résidus sont composés d'excréta (urine + matière fécale) mélangés à de la litière. Seules 2 des structures, qui sont équipées de toilettes à séparation urines/fèces, produisent des « fèces + litière ». En parallèle des cabines de TSM, beaucoup de structures utilisent des urinoirs et produisent ainsi des urines + litières (25 structures) et des urines pures (14 structures).

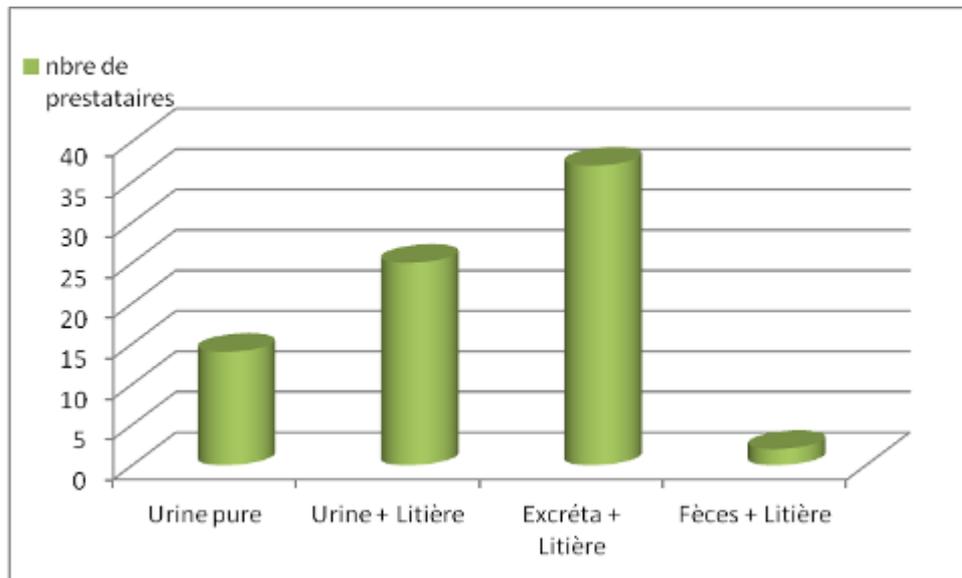


Figure 26: Type de résidus issus des TSM (Collecte)



Figure 27: Excréments + litières (à gauche) ; urine (à droite). Photographie : Toilettes du Monde

TYPE ET MANIÈRE D'UTILISER LES LITIÈRES

ENCADRÉ 1 : TYPE DE LITIÈRES UTILISÉES

Le *questionnaire complémentaire* nous permet de préciser le type de matière carbonée utilisée comme litière. Le rôle de cette litière est d'absorber les liquides, bloquer les odeurs et stabiliser les tas de matières fécales.

Le graphique suivant montre que le mélange sciure + copeaux est le plus souvent utilisé comme litière pour recevoir tant les urines que les excréta. D'autre part, les copeaux et la sciure utilisés séparément constituent l'essentiel des autres litières utilisées, à l'exception près de la paille qui est la seconde matière carbonée sèche la plus utilisée pour recevoir les urines. Notons que l'utilisation de feuilles sèches est une pratique très minoritaire.

Ce graphique donne un résultat qui représente l'ensemble des pratiques, mais ne représente pas les volumes associés aux différents types de matières collectées.

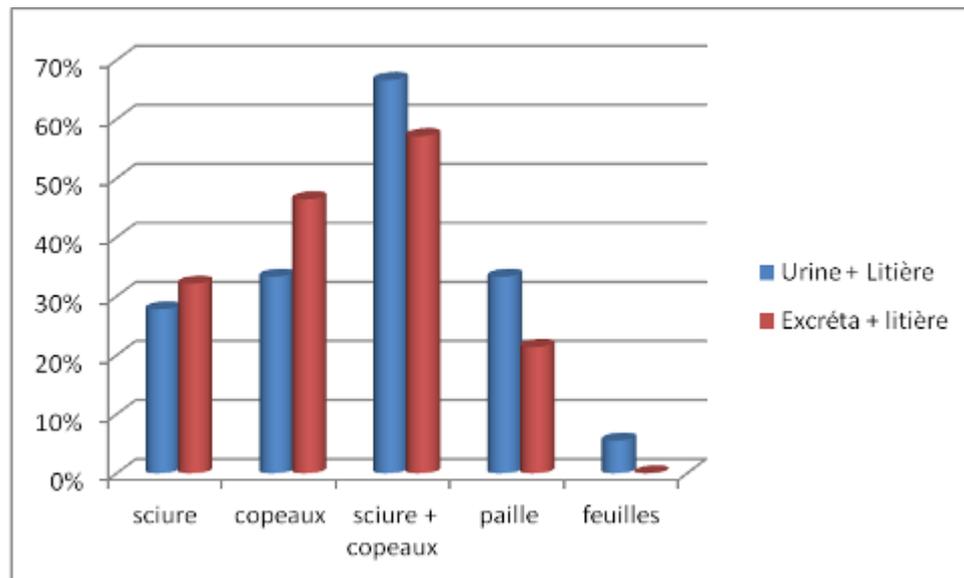


Figure 28 : Type de résidus issus des TSM

A partir de ces matières générés par l'utilisation des TSM et des urinoirs, la plupart des prestataires procèdent à des ajouts de litières additionnelles à celles ajoutées au départ et/ou par les usagers. Ainsi :

- 15 structures rajoutent, avant le transport, de la litière additionnelle dans les contenants à transporter, le plus souvent pour limiter la lixiviation et les risques de débordement.
- 8 des 40 structures récupèrent, lorsque c'est possible, les déchets de cuisine produits sur l'évènement et l'ajoutent au mélange « excréta + litières » issus des TSM.

Il est à noter que la chaux n'est jamais pratiquée comme ajout, probablement de par le fait qu'elle ne facilite pas le compostage, principal mode de traitement des résidus des TSM.

Le principal complément aux résidus de TSM se fait *a posteriori* de l'évènement, sur les sites de compostage, avec l'ajout de fumier et/ou de déchets verts pour 25 des prestataires ayant répondu au questionnaire.

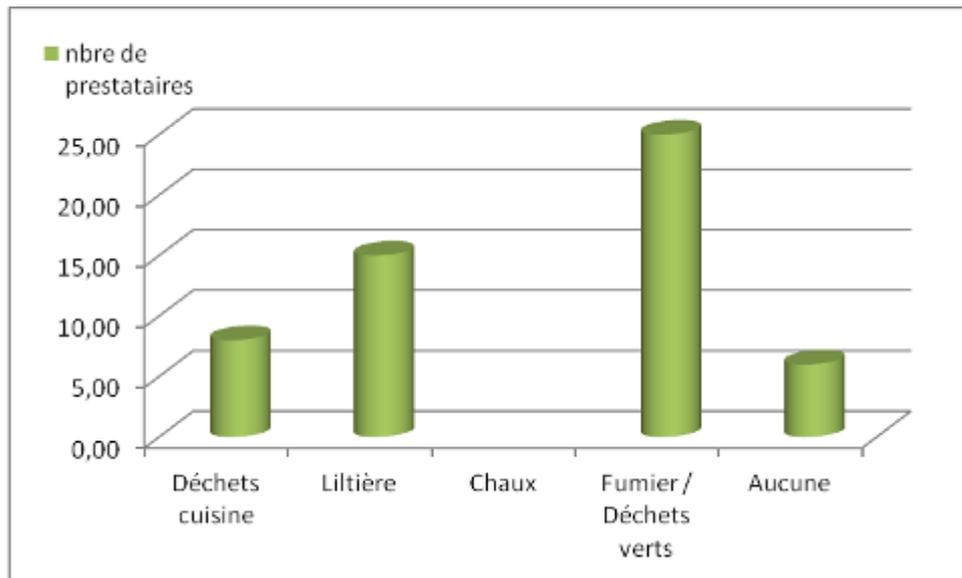


Figure 29 : Matières ajoutées *a posteriori* aux résidus de TSM

CONTENANT UTILISÉS POUR LA COLLECTE DES RÉSIDUS DE TSM DURANT L'ÉVÈNEMENT

Les excréta sont collectés principalement :

- dans des réceptacles étanches pour plus de 85% des réponses et qui pour 3 des répondants sont de plus hermétiques ;
- 95% de ces réceptacles sont en plastiques.

Ces réceptacles sont des poubelles de 60 ou 80 litres, (20 répondants).

Pour les urines collectées séparément, les réceptacles sont :

- des bidons ou des seaux de 20 à 60 litres : pour les urinoirs à sciure (urine + litière)
- des cuves de 100 à 1000 litres en plastique: pour les urinoirs sans ajouts de litière
- dans plus de 90% des cas, les réceptacles sont en plastique, ils sont hermétiques pour 7 d'entre eux et opaques pour au moins 5 d'entre eux.

Aucun des prestataires ne pratique l'infiltration directe des urines.

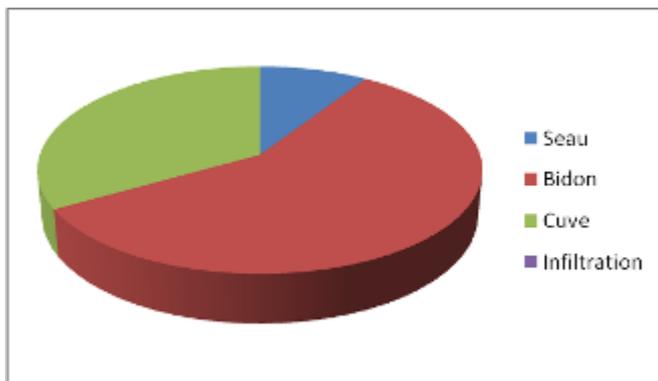


Figure 31 : Type de réceptacle pour les urines



Figure 30: Réceptacle excréta (poubelle en plastique). Photographie : Toilettes du Monde

STOCKAGE TEMPORAIRE DES MATIÈRES ISSUES DES TSM ET URINOIRS

Une fois collectées, et avant le transport vers le lieu de traitement, les matières peuvent être stockées temporairement. Il y a stockage temporaire dans plus de 90 % des cas.

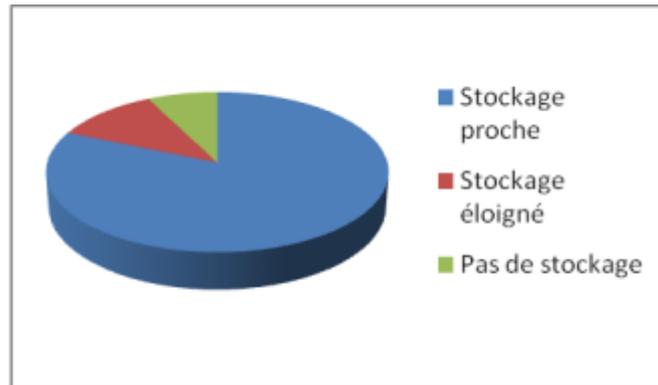


Figure 32 : Stockage temporaire des résidus

Il est le plus souvent proche de l'évènement, pour plus de 80% des répondants et se fait sur une zone sécurisée pour ceux qui pratiquent le stockage temporaire.

Le stockage des excréta se fait dans des futs (15 structures), des bacs (12 structures) ou des bennes (10 structures).

2.7. Vidanges et mesures d'hygiène sur site

PRINCIPALES PRATIQUES AUTOUR DE LA VIDANGE SUR SITE

La vidange est le fait de sortir les réceptacles contenant les résidus des TSM & urinoirs et/ou de les transvaser dans le réceptacle de stockage temporaire. La vidange a lieu le plus souvent lorsque le réceptacle est plein, comme le montre la figure 33 ci-dessous. Elle est réalisée par les animateurs prestataires pour 24 des structures répondantes et par les organisateurs dans deux cas. Finalement, pour 10 des répondants, la prise en charge de la vidange est variable selon le type d'évènements et de prestations. Les réceptacles de collecte sont nettoyés après chaque vidange pour les ¾ des répondants.

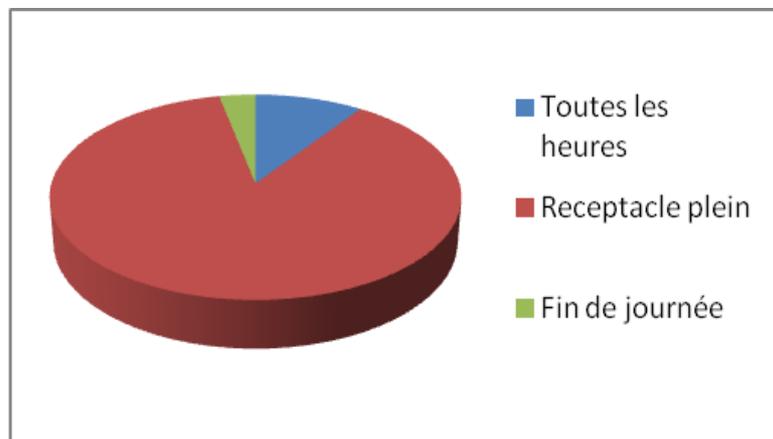


Figure 33 : Fréquence de vidange

PRINCIPALES MESURES D'HYGIÈNE SUR SITE

Comme pour la vidange, ce sont principalement les animateurs prestataires (24 structures) qui ont la charge de l'entretien et du nettoyage. Cette tâche revient toutefois également à l'organisateur ou ses bénévoles dans certains cas (8 réponses).

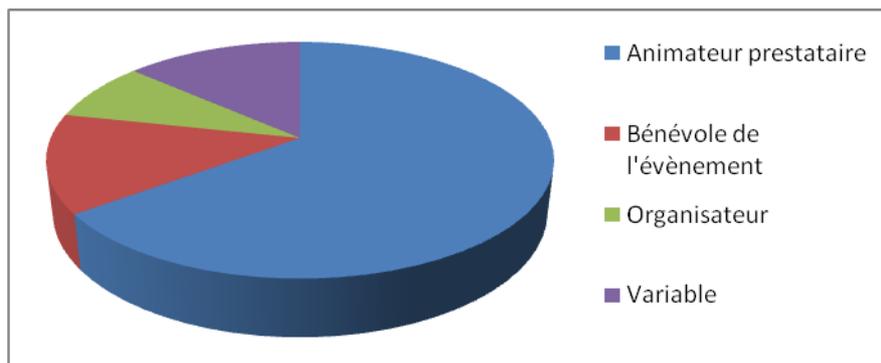


Figure 34 : Personne en charge de l'entretien sur site

CONCERNANT LE NETTOYAGE DES CABINES :

Elles sont nettoyées fréquemment : près de la moitié des répondants y procèdent toutes les 15 minutes à toutes les heures. Plus de 90 % les nettoient au minimum après chaque vidange. Aucune structure n'attend la fin de l'évènement pour nettoyer les cabines.

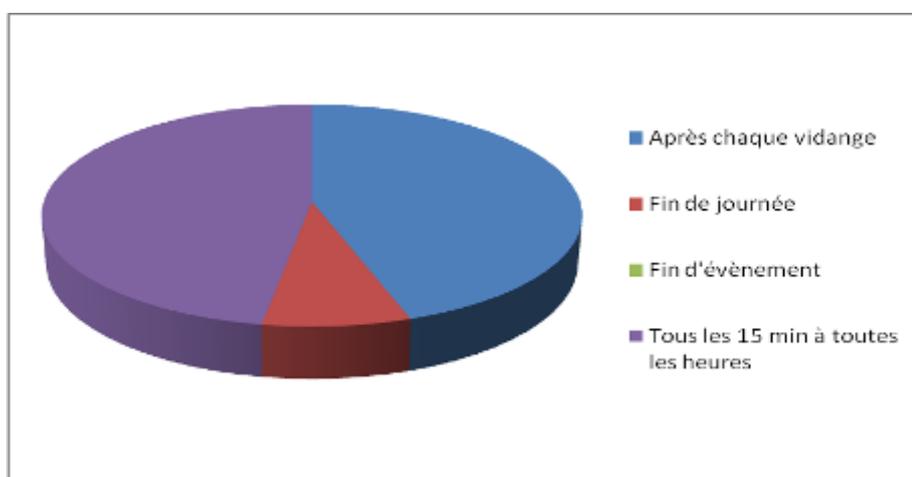


Figure 35 : Fréquence de nettoyage des cabines

CONCERNANT LES OUTILS, USTENSILES ET PRODUITS UTILISÉS POUR LE NETTOYAGE

Les personnes chargées de l'entretien sont généralement équipées de gants (i) pour le nettoyage des réceptacles (près de 80% des cas) mais également (ii) pour le transvasement vers le réceptacle de stockage temporaire dans plus de 80% des cas.

Les outils sont nettoyés régulièrement pour plus de 85 % des prestataires.

Un mélange d'eau et d'huiles essentielles est le produit le plus fréquemment utilisé pour procéder au nettoyage (24 structures). Viennent ensuite le savon, le désinfectant écologique, le vinaigre blanc et l'eau de Javel pour les produits les plus fréquemment cités.

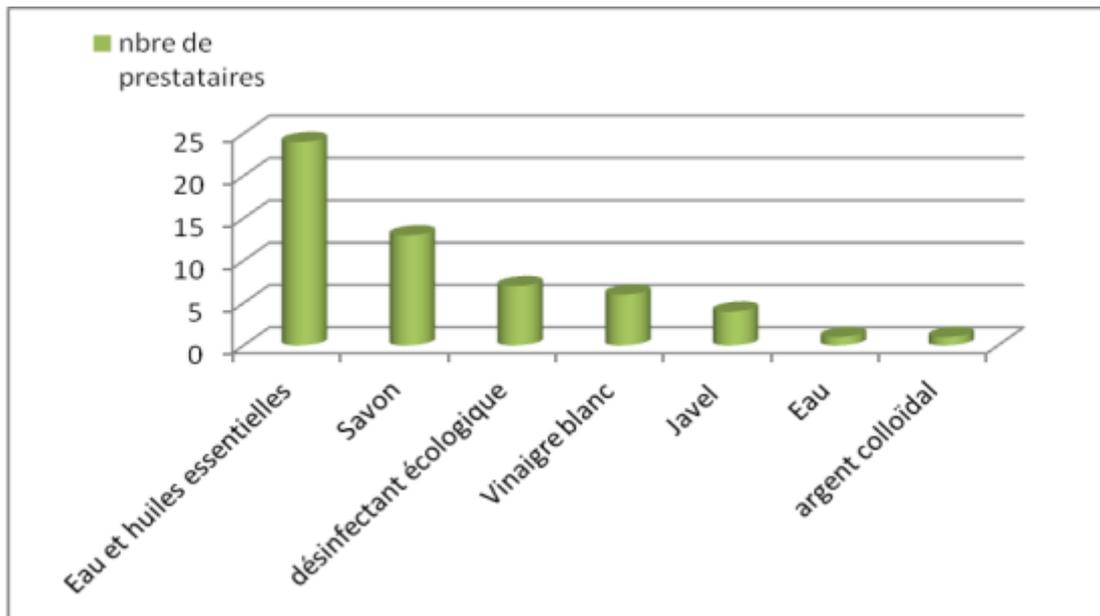


Figure 36 : Produits utilisés pour le nettoyage

CONCERNANT L'HYGIÈNE DES UTILISATEURS

Un dispositif pour le lavage des mains à destination des utilisateurs est installé systématiquement par plus de 85 % des prestataires. Ce dispositif peut-être (i) du gel hydro-alcoolique, (ii) un lavabo ou (iii) une fontaine comme le montre la figure 37 ci-dessous.

Dans le cas des lavabos et des fontaines, l'eau provient principalement de réservoirs d'eau potable ; l'eau de pluie étant utilisée par 3 répondants.

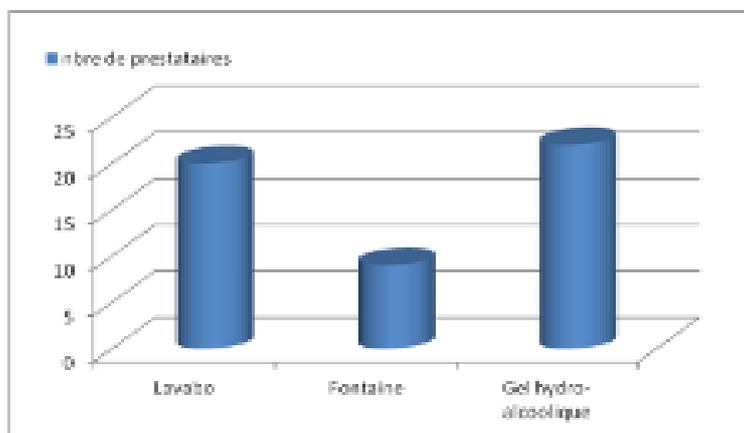


Figure 37 : Type de lave main

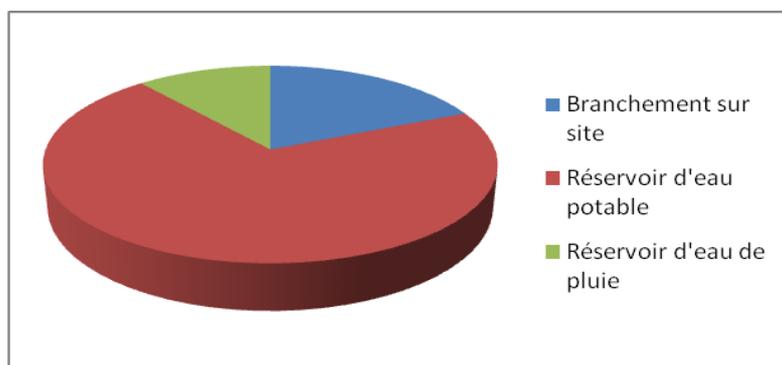


Figure 38 : Provenance de l'eau



Figure 39: Mesures d'hygiène autour des TSM. Photographie Aquatterre (à gauche), Les Gandousiers (à droite)

2.8. Transport des résidus issus des TSM et des urinoirs

ENCADRÉ 2 : MODE DE TRANSPORT SELON LES TYPES DE RÉSIDUS

Le questionnaire complémentaire nous permet de préciser que les **véhicules légers et véhicules utilitaires sont les principaux modes de transport**, quel que soit le type de résidus collectés. Néanmoins, 11 des 40 répondants utilisent des poids lourds et remorques bâchées tractées par des véhicules utilitaires. Il faut noter également que les urines font le plus souvent l'objet d'un transport spécifique en remorque agricole ou en citerne (par exemple cuve à lisier).

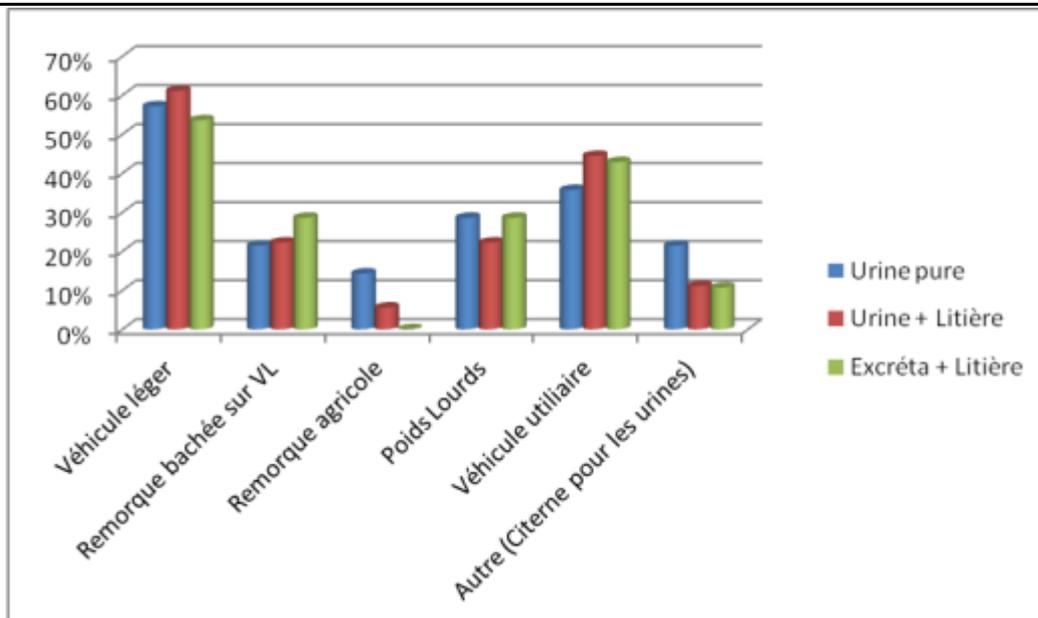


Figure 40 : Mode de transport selon le type de résidus



Figure 41: Transports des résidus. Photographie : web (à gauche) ; Chlorophylle (à droite)

Le véhicule appartient au prestataire dans la plupart des cas (près de 85%), néanmoins il est possible qu'il appartienne à l'organisateur (5 des 40 répondants).

LES RÉSIDUS TRANSPORTÉS : VOLUME ET DISTANCE PARCOURUE

Les volumes de résidus transportés sont variables en fonction de la taille de l'évènement et la lecture de la figure 43 nous montre des pratiques diverses : 8 structures transportent régulièrement moins d' 1m^3 de résidus issus des TSM et urinoirs tandis que 14 d'entre elles transportent entre 1 et 5m^3 .

Il est à noter que près d'un quart des répondants transportent plus de 5m^3 , voire plus de 10m^3 . Ces transports doivent faire l'objet d'une déclaration en préfecture (cf. I.2).

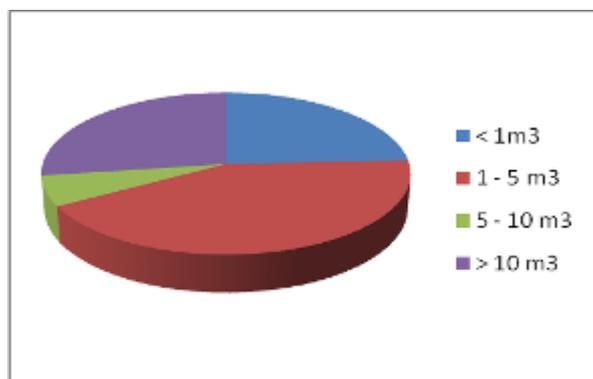


Figure 42 : Volume de résidus transportés

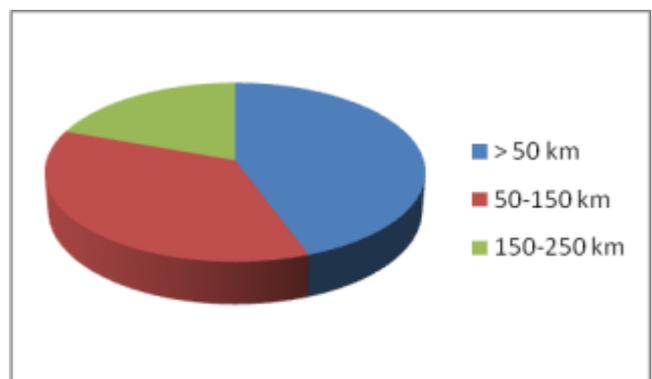


Figure 43 : Distance parcourue avec les résidus

Concernant les distances parcourues avec ces résidus, près de la moitié des structures transportent sur une distance inférieure à 50km. Seulement 7 structures parcourent parfois plus de 150km pour traiter leurs résidus. Ces données concernant le transport des résidus issus des TSM et urinoirs confirment le fait que :

- Le plus grand nombre d'évènements couverts sont de petites tailles puisque les volumes transportés sont en majorités inférieur à 5m^3 .
- Les solutions pour le traitement des matières collectées sont cherchées au niveau local.

2.9. Mode de gestion des résidus issus des TSM et des urinoirs

Une partie des prestataires pratiquent plusieurs modes de traitement pour les résidus issus des TSM et des urinoirs, en fonction du type de résidu obtenu ainsi que des situations (type d'événement, localisation de l'événement principalement).

Malgré tout, et en accord avec leurs préoccupations principales (cf. figure 8), le compostage fait partie des principaux modes de traitement des résidus.

Mode de gestion majoritaire des résidus issus des TSM et des urinoirs :

- **Plate-forme de compostage personnelle** : 25 des répondants (63 %)
- **Plate-forme de compostage collective** (agriculteurs composteurs ou collectivités territoriales) : 14 des répondants (35 %).

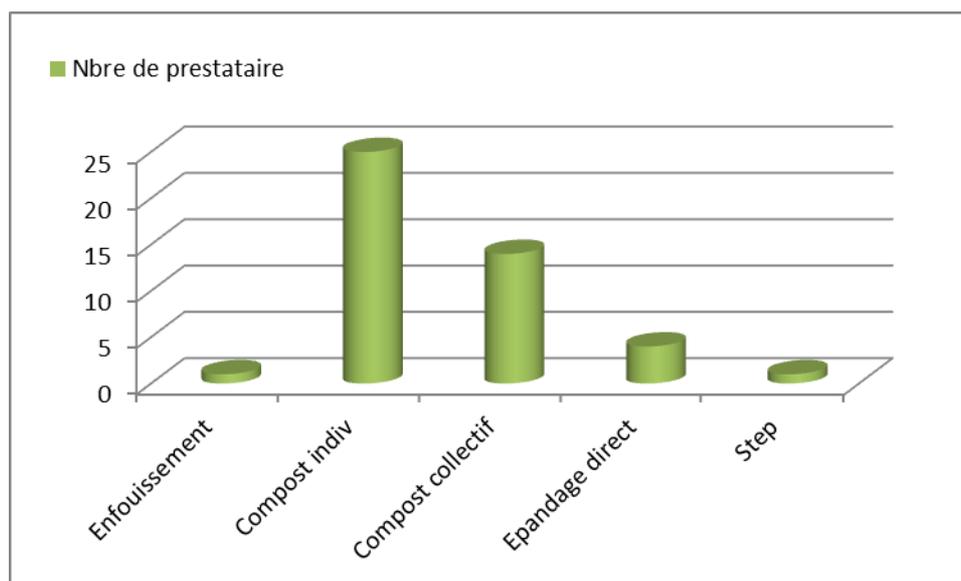


Figure 44 : Mode de gestion des excréta issus des TSM

L'enfouissement et les stations d'épuration sont des solutions très peu utilisées par les répondants (1 structure par réponse).

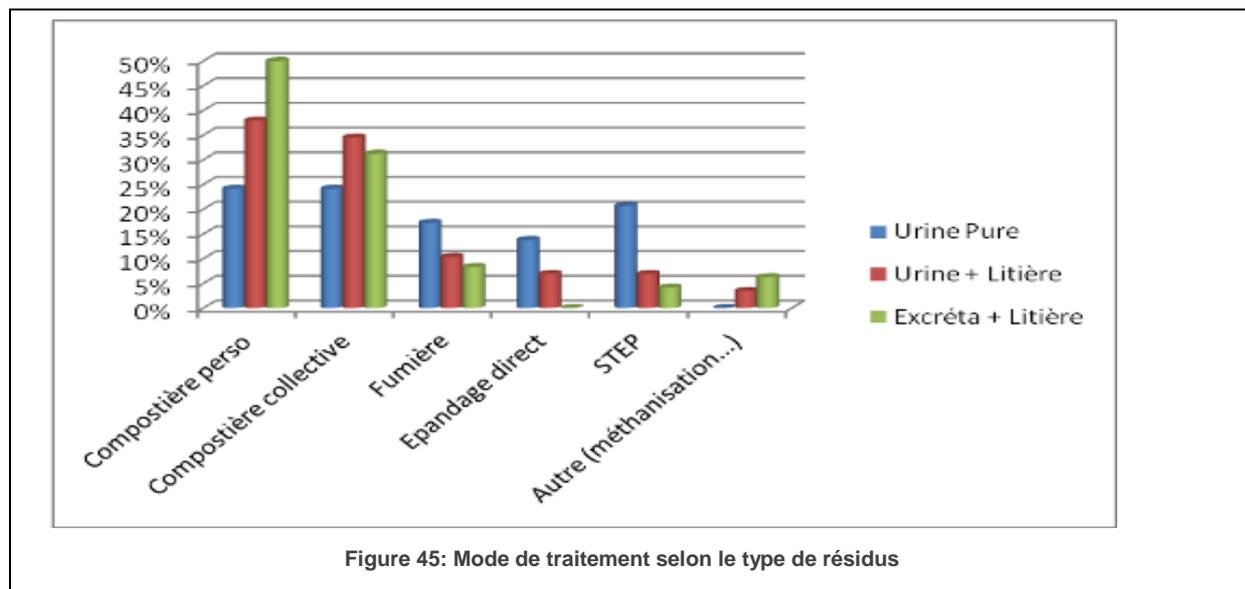
ENCADRÉ 3 : MODE DE GESTION SELON LE TYPE DE RÉSIDUS

Le *questionnaire complémentaire* nous permet de préciser les modes de gestion des résidus issus des TSM et des urinoirs, en fonction du type de résidu obtenu : (i) urines pures, (ii) urines + litières, (iii) excréta + litière.

Ces réponses confirment bien le fait que les « excréta + litière » sont traités majoritairement sur une compostière individuelle (= aire de compostage personnelle) ou sur une plate-forme de compostage.

Concernant les « urines + litières », nous observons qu'elles sont traitées globalement de la même manière que les « excréta + litière », même si elles sont collectées de manière séparées. C'est donc uniquement pour une raison de facilité logistique de transport qu'elles sont collectées séparément.

Pour finir, les « urines pures » sont gérées de manières diverses et variées. Selon nous, il n'y a aujourd'hui pas de « pratique idéale » pour gérer les « urines pures ». Ce flux souvent important et dilué est un challenge à gérer. La figure ci-dessous montre que les modes de gestion : fumière, épandage direct et station d'épuration, sont des solutions principalement utilisées pour gérer le flux des urines pures. Cela permet de relativiser les risques sanitaires liés à ces modes de traitement impliquant un minimum de manutentions et donc un minimum de contact avec le sous-produit.



GESTION DES AIRES DE COMPOSTAGE PERSONNELLES

Sur les 25 répondants utilisant une aire de compostage personnelles, 7 d'entre eux ont étanchéifié leur aire de compostage. Cela peut s'expliquer par le fait que les prestataires traitent majoritairement des résidus solides ou semi-solides et peu d'urines pures sur leur propre plate-forme. Ils produisent donc *a priori* peu de lixiviats.

L'humidité des composts est gérée avec l'ajout des urines collectées séparément pour 21 des structures contre 9 qui utilisent uniquement l'eau de pluie.

L'aération est gérée par retournement avec une bêche ou une fourche pour 71% des structures (soit 22 prestataires). Les « brasscomposts », pelleteuses et retourneurs d'andain sont moins fréquemment utilisées. Le temps de traitement par compostage est variable : de 6 à 12 mois à plus de 24 mois, avec une répartition quasiment égale des répondants entre les différentes possibilités de réponses (environ ¼ pour chaque), comme le montre la figure 46.

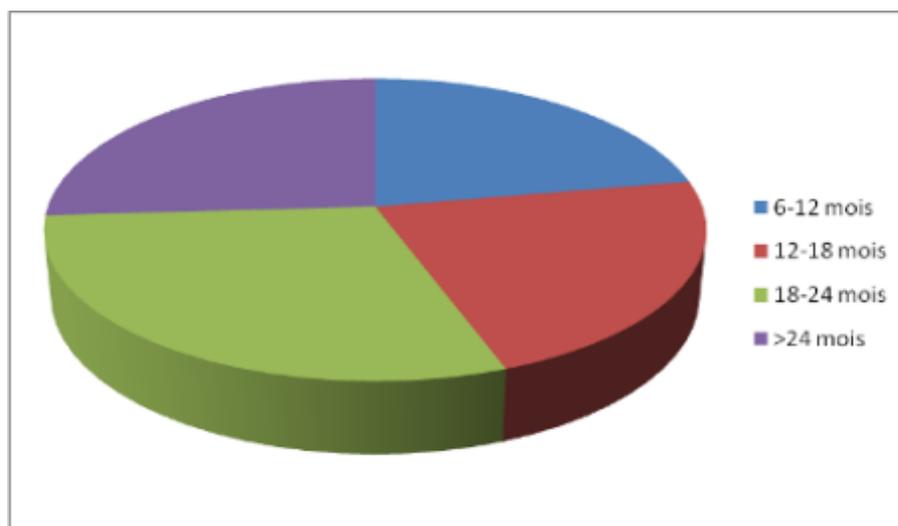


Figure 46 : Temps de traitement par compostage



Figure 47: Aire de compostage des TSM. Photographie : Chlorophylle

VALORISATION- PRATIQUES MAJORITAIRES

En fonction du type de résidus collecté puis sa gestion, le type de valorisation peut varier, mais globalement, près de ¾ des structures connaissent toujours la destination de leurs matières hygiénisées.

Concernant les « excréta + litières » collectés puis traités :

- Ils sont utilisés en tant qu'**amendement agricole** dans plus de 85% des cas. Il est cependant intéressant de noter que pour 2 structures les matières sont intégrés à un compost normé et donc vendu par la suite.
- L'amendement agricole se fait sur des **cultures majoritairement non-alimentaires**, seuls 10 répondants pratiquent l'amendement sur des cultures alimentaires (soit 14 %)
- L'amendement dans le graphique suivant (figure 33) correspondant aux 10 prestataires (36%) n'ayant pas précisé le type de culture sur lequel se fait l'épandage.

Concernant les « Urine + litières » et les « urines pures » collectées:

- Les urines (pures ou avec litière) sont majoritairement réinjectées sur le compost (13 réponses) et donc rejoignent la filière « excréta + litières » pour ce qui est du traitement et de la valorisation.
- Dans certains cas (7 réponses), les urines sont épandues directement, diluées avant épandage ou stockée avant épandage.

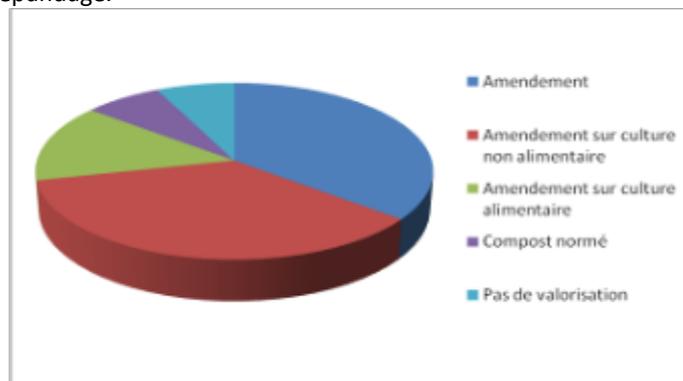


Figure 48 : Type de valorisation pour les matières « excréta + litières » traitées

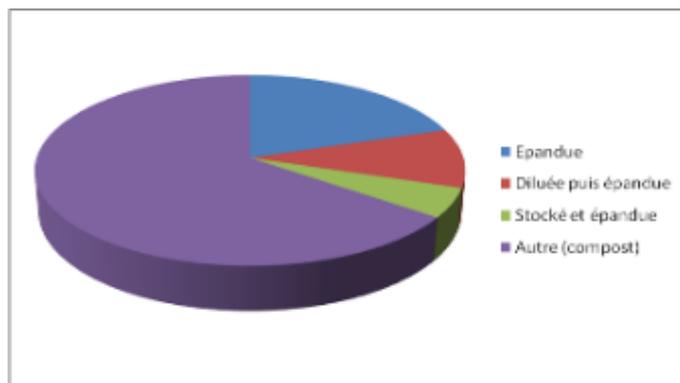


Figure 49 : Utilisation des urines

ENCADRÉ 4 : MODE DE VALORISATION SELON LE TYPE DE RÉSIDUS

Le questionnaire complémentaire nous permet de préciser que **l'épandage sur des cultures non alimentaires est bien le principal mode de valorisation des produits**, et ce tout particulièrement pour les types de résidus « excréta + litière » et « urines pures ».

L'épandage sur culture alimentaire est plus utilisé pour la valorisation des urines, notamment lorsqu'elles sont recueillies sur litière. Par ailleurs, d'autres modes de valorisation agricole apparaissent ici pour les résidus solides, notamment l'utilisation de composts normés (pour deux prestataires).

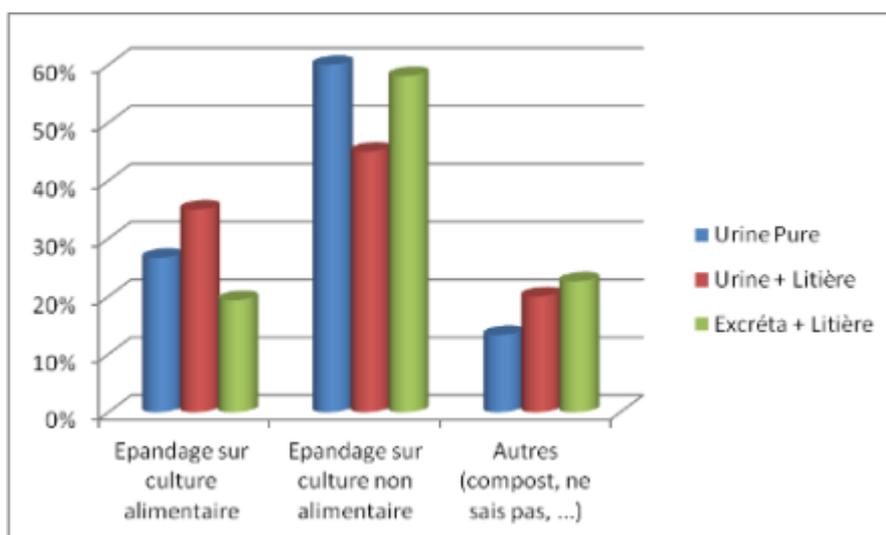


Figure 50 : Mode de valorisation selon le type de résidus

3. État des lieux des pratiques chez les commanditaires

Sur les 82 commanditaires identifiés et sollicités, seulement 22 ont répondu. Ce faible taux de réponse (27%) corrélé avec une identification partielle des commanditaires permet de dire que nous pouvons percevoir des tendances mais ne nous permettent pas de tirer des conclusions avec certitude.

3.1. Le profil des commanditaires et des événements organisés

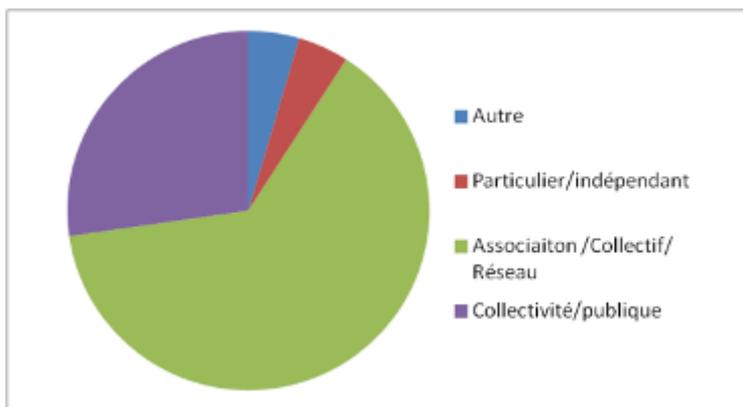


Figure 51 : Profil des commanditaires

On remarque que si la majorité des répondants ont une structure de type associative, les collectivités et autres services publics sont également bien représentés. Le fait d'avoir eu très peu de retours des particuliers est cohérent avec le fait que bien souvent ces commanditaires réalisent des événements ponctuels. Finalement, il est à noter qu'un répondant est une entreprise (dans la catégorie « autre » sur le schéma).

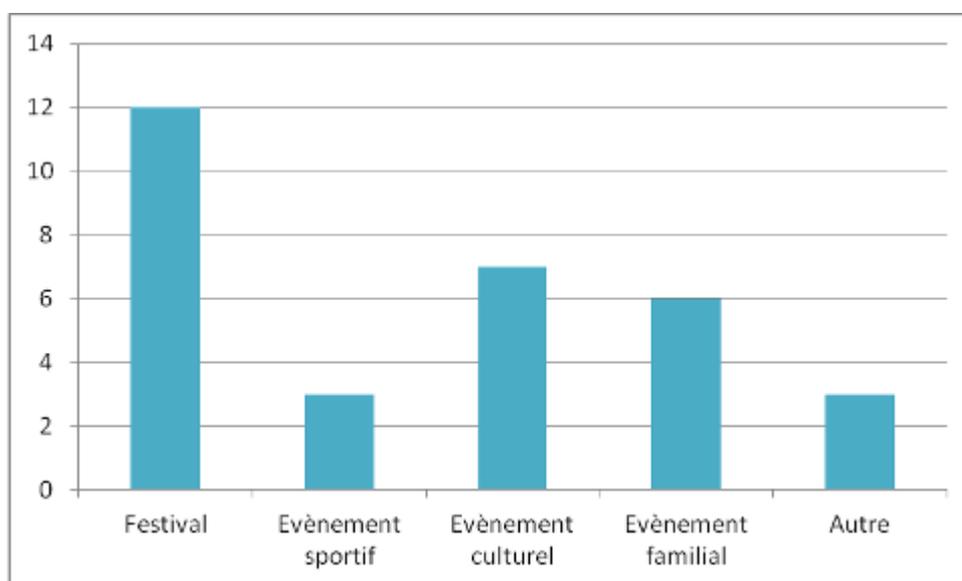


Figure 52 : Profil des événements couverts par les commanditaires

Il apparaît que les commanditaires couvrent majoritairement des événements de type «festival». Cependant, les autres types d'événements, qu'ils soient sportifs, culturel ou familiaux, sont également mis en place. Par événements familiaux il faut comprendre des événements privés (mariages, fêtes privées etc.). Cependant certains répondant ont coché cette option de par le type de public (donc plutôt familial) qui participait à l'évènement, comme une journée citoyenne. Finalement, ont également été mentionné des événements de type chantiers, que ce soit des chantiers associatifs (jeunes, participatifs, etc.) ou de BTP.

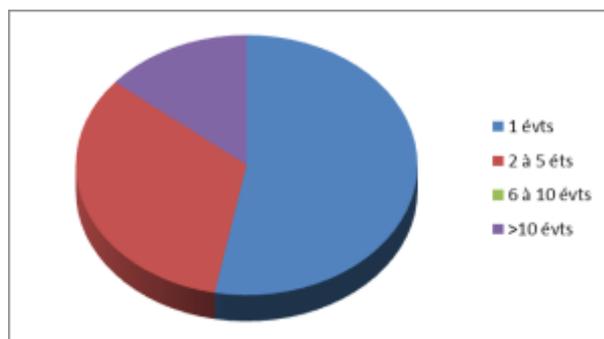


Figure 53 : Nombre d'événements organisés dans l'année par les commanditaires

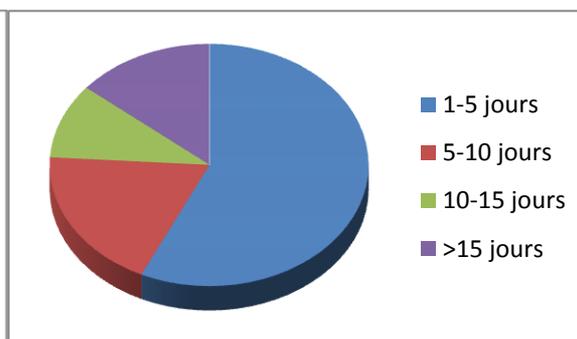


Figure 54 : Durée des événements

Les événements organisés par les commanditaires interviewés sont donc variés mais généralement assez courts. Nous recensons notamment la fête du Parc Naturel Régional du cap et marais d'opale, festival papillon de nuit, les événements culturels de la ville d'Angers, les journées citoyennes de la ville de Lens, le festival des completeurs festifs, la foire Eco-biologique de Nyons, etc.

Dans la grande majorité (95%) des cas recensés, les commanditaires ont recours à des toilettes sèches. Dans 2 cas, les toilettes sèches sont associées à des toilettes chimiques et dans 5 autres cas à des toilettes à eau qui sont soit fixes et raccordées soit mobiles et raccordées.

PRATIQUES MAJORITAIRES DES COMMANDITAIRES:

- Entre 1 et 5 événements /an
 - Durée: entre 1 et 5 jours
 - Type d'événement varié (festival, sportif, culturel, familial),
 - On retrouve une grande majorité d'événement ponctuel
 - 95% des cas : utilisation de TSM
-

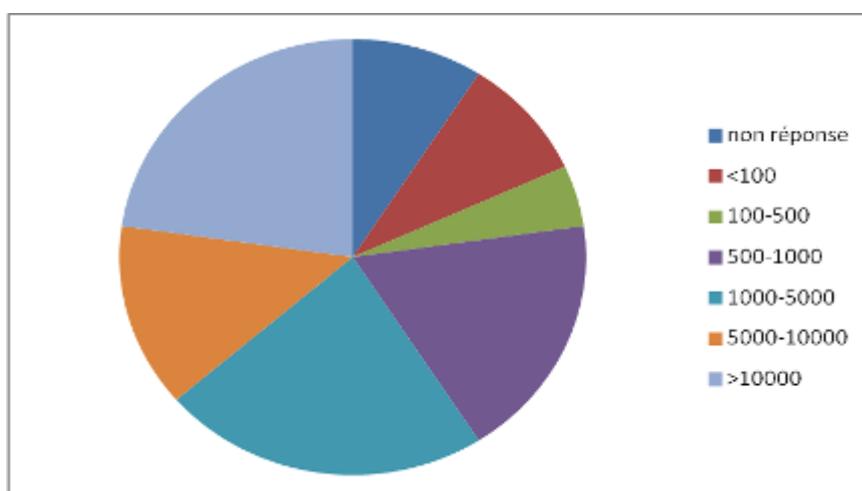


Figure 55 : Nombre de participants aux événements recensés

Il apparaît que selon les types d'événements, le nombre d'utilisateurs des TSM est très variable. Cependant, et pour avoir une idée du nombre de personnes potentiellement concernées, à la question « combien d'utilisateurs ont utilisé les TSM pendant l'événement le plus important que vous ayez mis en place », sont recensées sur 10 événements, plus de 45 000 personnes.

Pour finir, la mise en place de toilettes sèches mobiles comme action écoresponsable d'un événement n'est jamais isolée. Effectivement, l'ensemble des commanditaires met également en place d'autres actions comme : gobelets réutilisables, cendriers de poche, covoiturage, tri des déchets, alimentation locale et bio, vaisselle lavable ou biodégradable.

Concernant la provenance des TSM et la gestion de leurs matières, il apparaît que les **commanditaires font appel à un prestataire, soit pour la location et la gestion des matières, soit pour la gestion des matières uniquement (sur place et post-événement)**, étant entendu qu'ils ont auto-construit ou se sont fait prêtés des cabines de TSM. Le recours à un prestataire semble être une habitude des commanditaires dans plus de la moitié des cas.

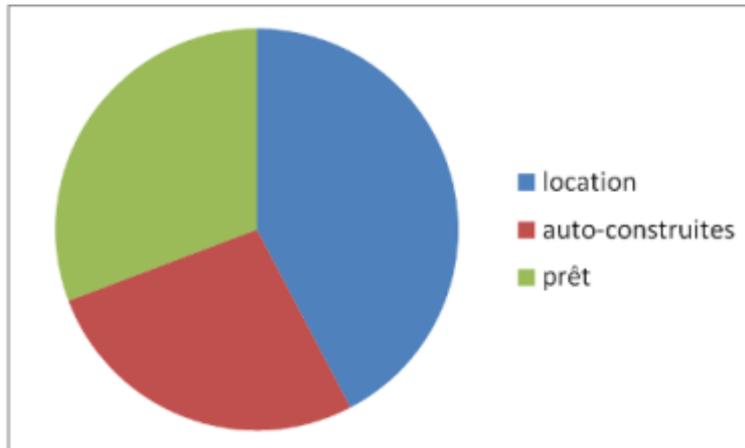


Figure 56 : Provenance des TSM utilisées

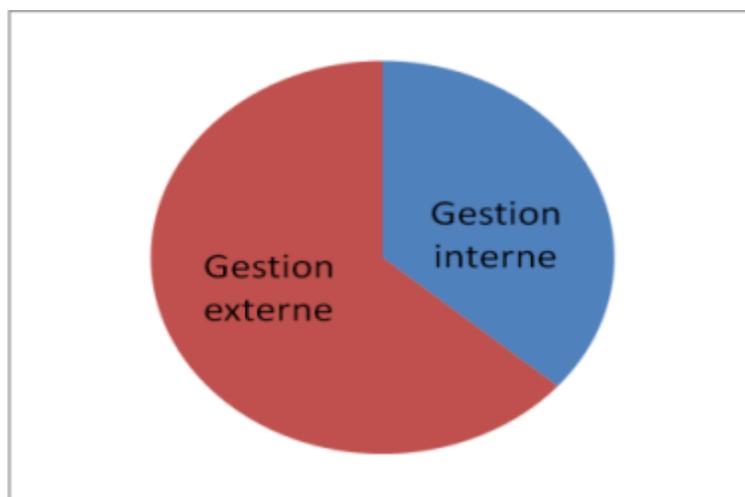


Figure 57 : Type de gestion des matières effectuée par les commanditaires

3.2. La perception des TSM par les commanditaires

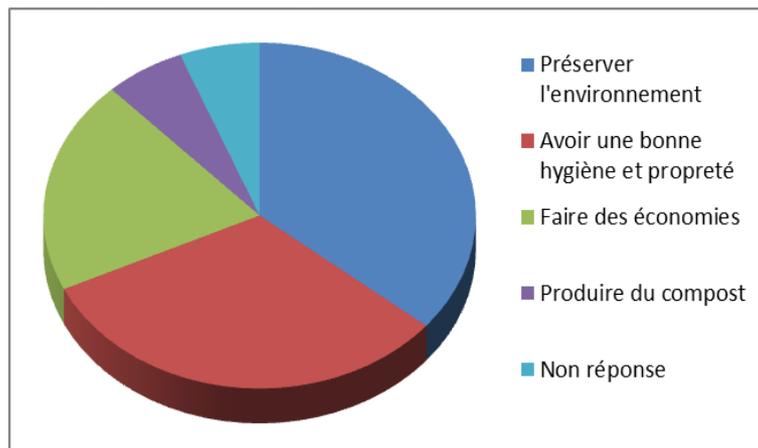


Figure 58 : Les attentes des commanditaires vis-à-vis de l'emploi des TSM

Pour les commanditaires les attentes principales vis-à-vis des toilettes sèches sont centrées sur la protection de l'environnement et les qualités sanitaires (perception d'une bonne hygiène et de plus de propreté). Le coût arrive seulement en troisième position. Plus des ¾ des commanditaires pensent qu'il n'y a aucun risque associé à l'emploi de toilettes sèches si leur gestion est maîtrisée.

Concernant l'environnement, les risques faibles et moyens perçus par les commanditaires sont associés à des défauts de mise en œuvre. Sont notamment mentionnés l'étanchéité des cuves et le design des aires de compostage.

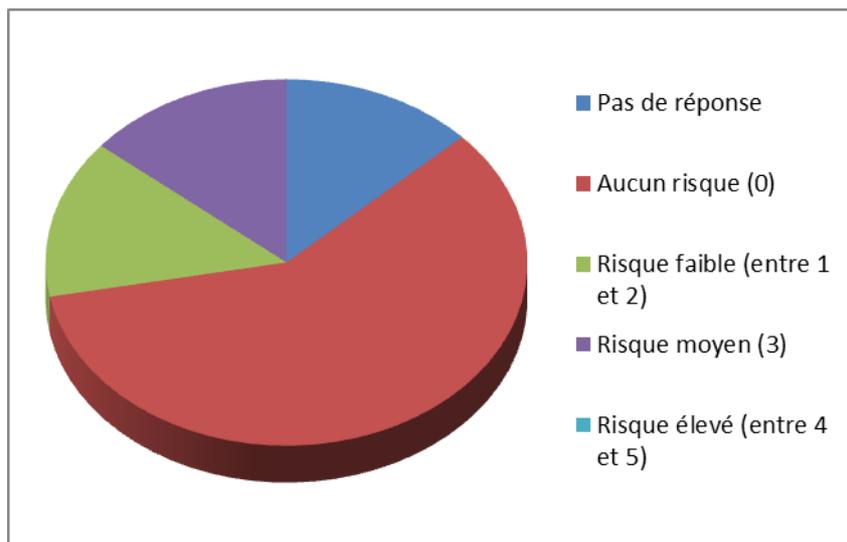


Figure 59 : La perception du risque environnemental des TSM par les commanditaires

Concernant la santé, les risques mentionnés concernent les résidus antibiotiques et la rapidité de la propagation des bactéries en cas de mauvaise gestion.

3.3. Les prestations de TSM

Le bouche à oreille et la réputation d'un prestataire reste le meilleur moyen de ces derniers pour obtenir un contrat avec un commanditaire. Il n'est pas possible de donner un coût journalier moyen pour une activité de prestation de TS mobile tant l'offre est variable en terme de contenu de prestation (animation, nombre et type de cabine, prise en charge des intrants et matières, installation des cabines, etc.). Toutefois, dans $\frac{3}{4}$ des cas, le prestataire prend en charge les matières (pendant et après l'évènement) et dans un peu plus de la moitié des cas, les intrants (papier et litière notamment).

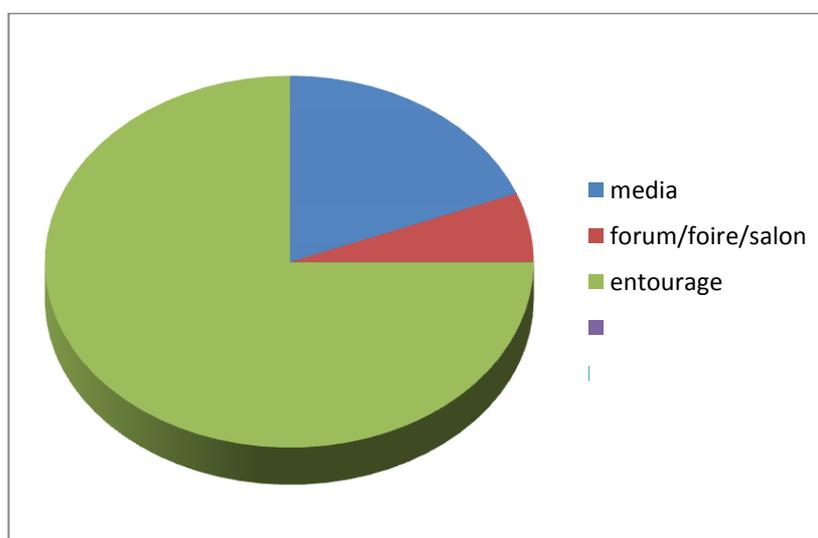


Figure 60 : La connaissance du prestataire par le commanditaire

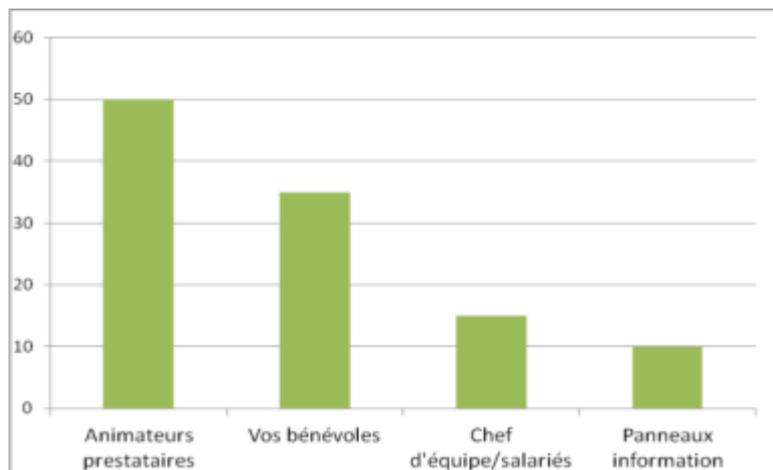


Figure 61 : Type de personnel responsable de la gestion des TSM

Les **critères de choix d'un prestataire** mentionné par un commanditaire, par ordre de récurrence, sont:

1. Animation et Coût
2. Proximité du prestataire et sérieux
3. Qualité du service (réactivité, entretien)

Si les attentes des commanditaires vis-à-vis des toilettes sèches portent principalement sur l'environnement et l'hygiène, le choix du prestataire est d'abord basé sur l'animation et le coût.

Les modèles de toilettes sèches mobiles utilisés sont des toilettes à litières avec ajout de sciure et parfois de copeaux. La mise en place d'urinoirs secs pour les hommes est mentionnée dans un peu plus de la moitié des cas. D'autre part, la mise en place de cabine pour personne à mobilité réduite (PMR) semble se mettre en place à partir de 5 cabines louées. Ainsi, plus le nombre de cabines est important, plus le nombre de cabine PMR augmente.

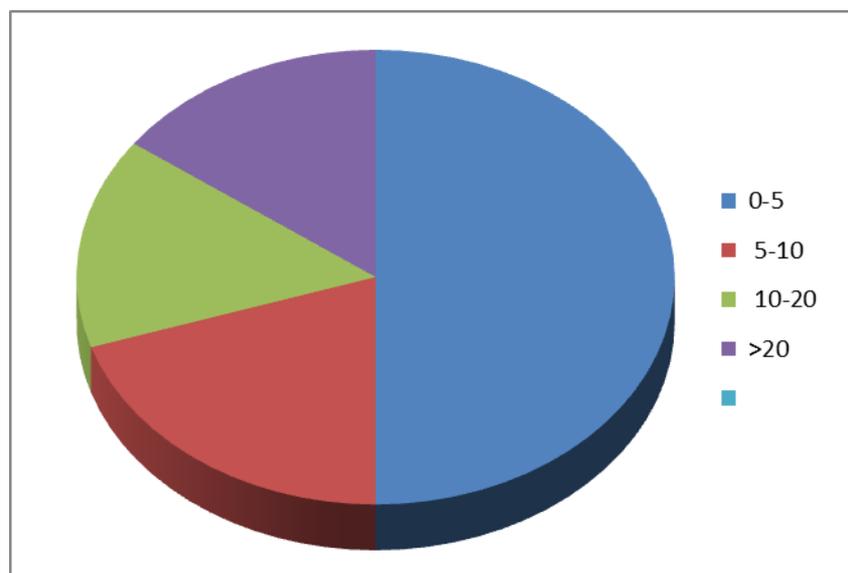


Figure 62 : Répartition du nombre de cabine moyen louée pour un événement

D'autre part, les commanditaires ne sont pas homogènes dans l'attribution du nombre de cabine en fonction de la taille d'un événement, surtout pour les événements de plus de 1000 participants où le nombre de cabine peut varier de 1 à plus de 20. **Une recommandation de dimensionnement devrait être proposée dans le cadre du présent projet.**

3.4. La collecte et le stockage des matières des TSM

Concernant ce chapitre, les commanditaires sont généralement peu informés quant à la gestion de la part de leur prestataire, même s'ils savent qu'il y a des vidanges.

Les commanditaires ayant répondu peuvent quand même affirmer, pour les $\frac{3}{4}$ d'entre eux, que les réceptacles utilisés pour la collecte des excréta sont en plastiques, d'une contenance de 80 litres et qu'ils sont majoritairement vidés quand ils sont pleins ; ce qui demande une présence quasi permanente sur place. En général, les commanditaires ne connaissent pas le nombre de réceptacles disponibles pour la collecte des excréta.

Le stockage des matières se fait généralement sur le lieu de l'évènement. Selon les commanditaires presque la moitié des matières sont stockés dans une zone non accessible au public. Dans ce cas, les excréta sont stockés soit dans des bennes, des bacs, des poubelles ou en tas.

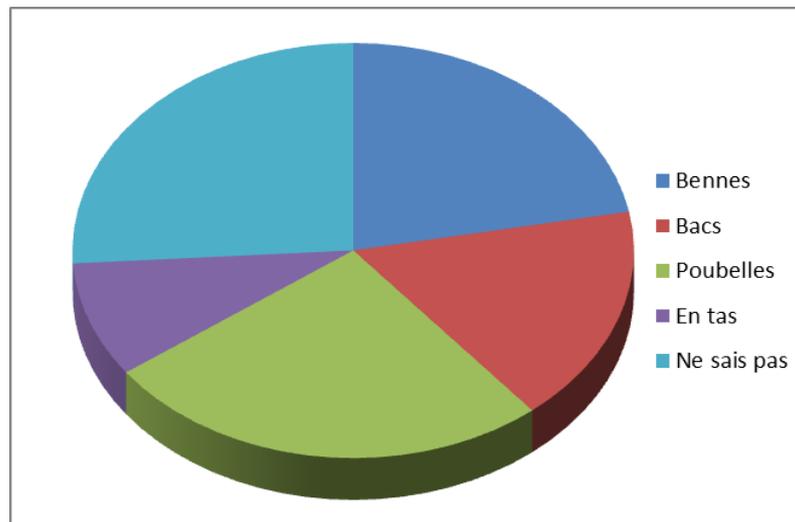


Figure 63 : Type de réceptacle de stockage des matières

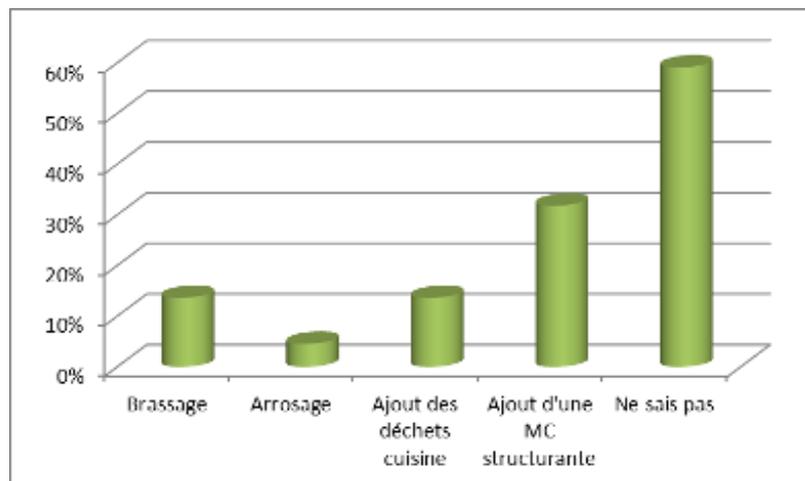


Figure 64 : Pratiques réalisées sur les matières collectées

Les figures 64 et 65 montrent une méconnaissance des commanditaires quant à la gestion des matières. On remarque que dans 2 cas, le stockage ne se fait pas en cuve étanche mais en tas, ce qui n'est pas une pratique recommandable, et que l'emploi de litière structurante pour le compostage semble être une habitude dans au moins 7 cas.

COLLECTE ET STOCKAGE – TENDANCES CHEZ LES COMMANDITAIRES

Peu de connaissance des commanditaires sur la collecte et le stockage. Globalement ils savent que

- Il y a des vidanges,
- Le type de réceptacle est en plastique et est > 80L
- Qu'il existe une zone de stockage, mais ils ne savent pas ce qu'il s'y passe

3.5. Les mesures d'hygiène

Plus de 77% des commanditaires interviewés nous informent de la présence d'un dispositif de lavage des mains avec leurs installations de TSM.

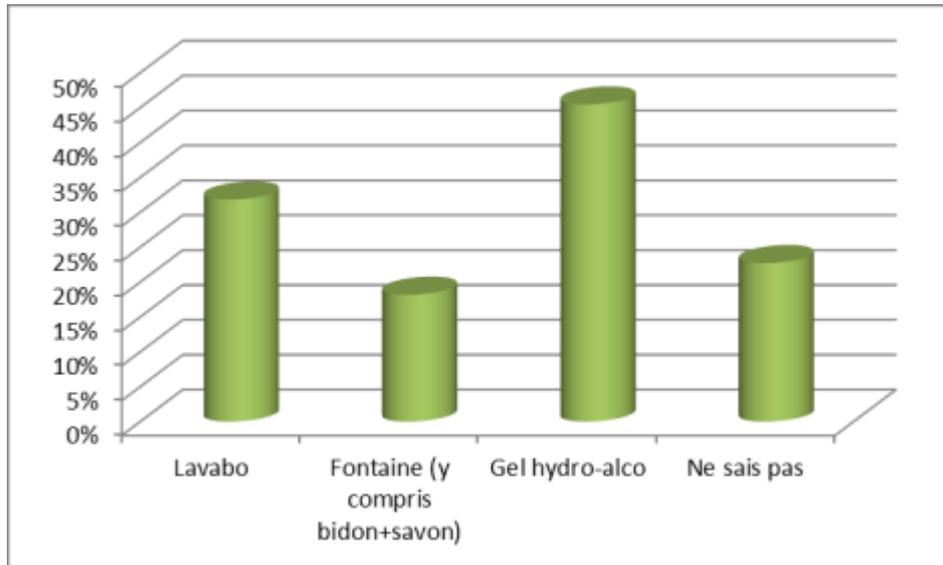


Figure 65 : Type de dispositif de lavage des mains

55% des commanditaires mentionnent que leurs cabines et les réceptacles contenant les excréta sont nettoyées soit au cours de l'évènement (42%) soit en fin d'évènement (13%). Les autres ne savent pas. Le produit utilisé est généralement de l'eau savonneuse (70% des cas). Certains mentionnent l'emploi de vinaigre blanc, de javel ou d'autres détergents dans 30% des cas.

45% des commanditaires mentionnent que leurs agents utilisent des gants pour le nettoyage des cabines et le transvasement des matières. 20% mentionnent qu'ils ne savent pas. Dans les 35% restant on peut estimer, à partir des réponses données par les prestataires, qu'une partie non négligeable constitue des « non réponses » plutôt que le constat du non port de gant.

3.6. Le transport et la valorisation des matières

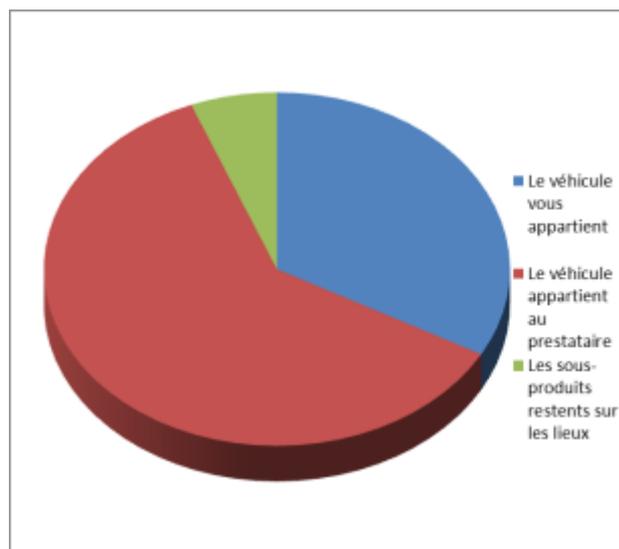


Figure 66 : Appartenance du véhicule de transport des matières

La corrélation la Figure 69 et la Figure 40 (type de véhicule des prestataires) confirme qu'au moins 60% des commanditaires disposant de toilettes sèches mobiles ont recours à un prestataire pour la gestion des sous- produits, les autres gèrent leurs matières par leurs propres moyens. Pour un commanditaire, le recours à un prestataire de TSM repose notamment sur sa capacité à gérer convenablement les matières



(capacité de traitement selon les règles et dans le respect de l'environnement, des usagers et du personnel).

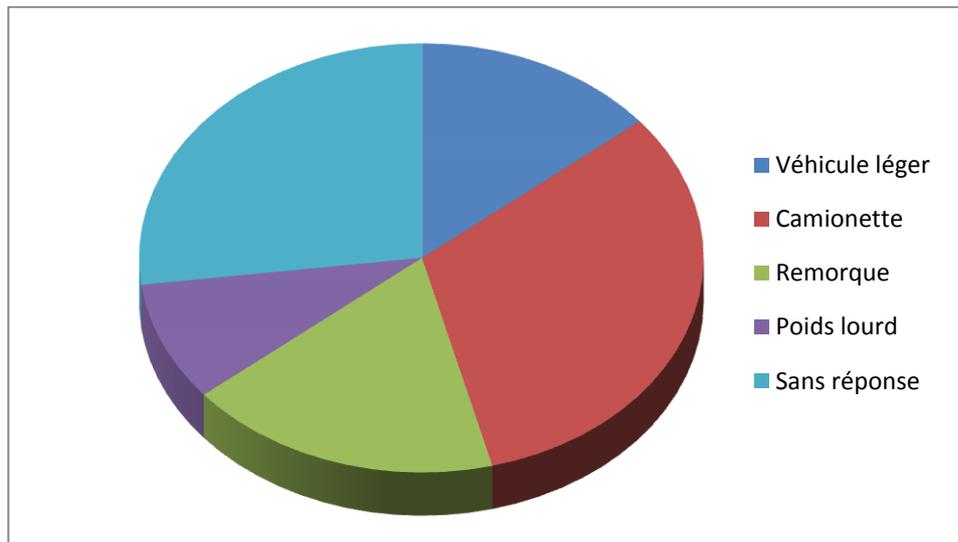


Figure 67 : Type de véhicule de transport des matières

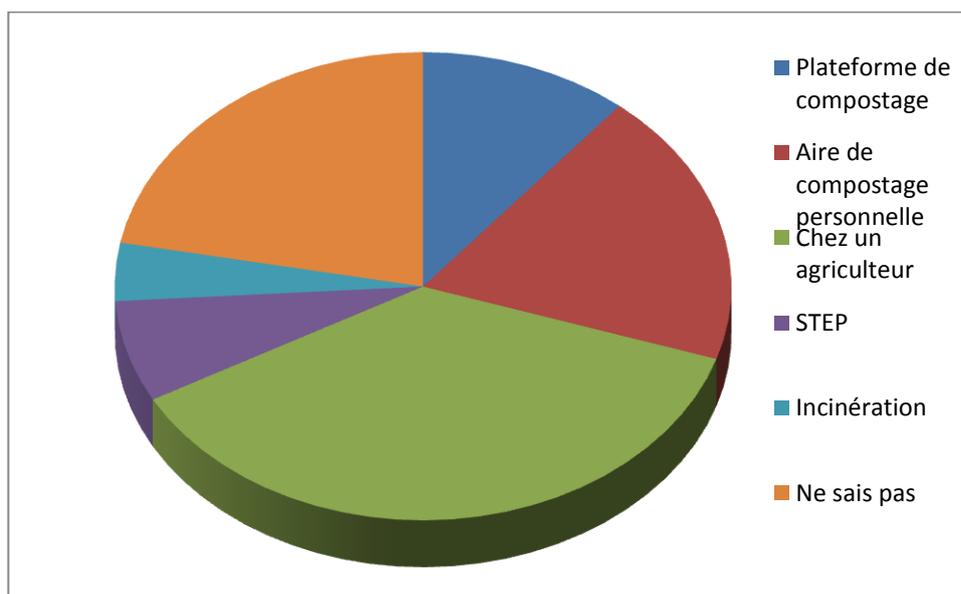


Figure 68 : Traitement et valorisation des matières

Beaucoup ne savent pas comment sont transportés les matières collectées (plus d'1/4) par contre, et a contrario du maillon collecte, les commanditaires semblent savoir ou vont et comment seront traités les excréta.

Il apparaît que le recours à un agriculteur pour le traitement des matières reste majoritaire devant l'aire de compostage personnelle (du commanditaire ou du prestataire). Finalement, l'épandage des urines sur place ou sur le site de traitement (impliquant un déplacement) semblent être les pratiques les plus courantes. Les techniques de traitement et de valorisation (stockage puis dilution) ne semblent quant à elles pas connues des commanditaires.

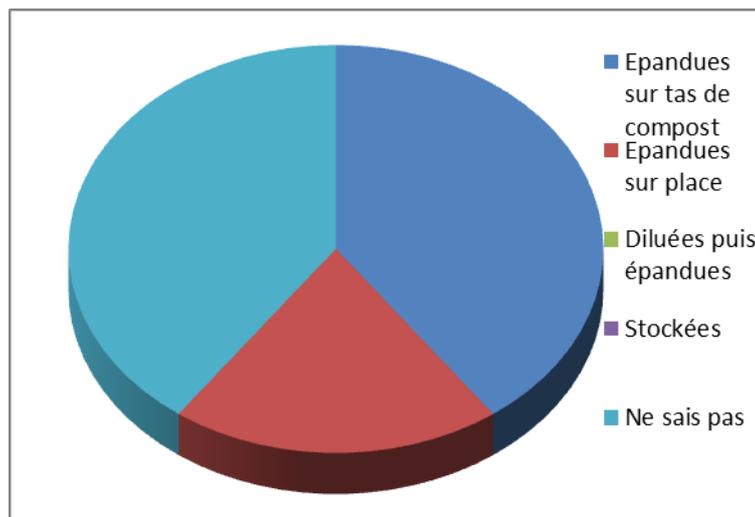


Figure 69 : Traitement et valorisation des urines pures

3.7. Synthèse

Les commanditaires interviewés sont principalement des associations (réseau ou collectifs) et des collectivités qui organisent majoritairement des festivals d'une durée de 1 à 5 jours. Ils ont une perception positive des TSM sur leur impact environnemental, leur état de propreté et la santé des usagers. Selon eux, les TSM ne représentent pas de risque sanitaire ni environnemental si elles sont bien gérées.

Cependant, les commanditaires paraissent avoir une méconnaissance du dimensionnement du nombre de cabine à mettre en place en fonction de la taille d'un évènement. De même, le recours majoritaire à un prestataire pour les TSM engendre une méconnaissance de la filière de gestion des matières (transport, traitement et valorisation).

Les critères de choix des commanditaires vis-à-vis d'un prestataire reposent sur leur capacité d'animation et d'entretien, la gestion des matières puis le coût.

4. Choix des filières à suivre

4.1. Critères et choix des filières

4.1.1. Critères de sélection.

A partir de cet état des lieux des pratiques les plus représentatives et afin d'approfondir l'analyse dans une perspective plus qualitative, nous avons sélectionné 4 filières types de prestation de TSM.

Cinq critères ont guidés le choix de ces filières afin de prendre en compte la diversité des réalités de terrain et les points clés pour une caractérisation impacts sanitaires :

1. Type de matière collectée (matière brute avec ou sans ajout de litière)
2. Type de contenant des matières collectées
3. Type de transport
4. Type de traitement des matières collectées
5. Type de valorisation des matières obtenus

L'élément central de distinction des filières est le type de matière produite ; c'est ce paramètre qui a guidé le choix des filières. Nous avons ensuite fait varier les 4 autres critères en fonction des réponses les plus représentatives. Les autres éléments présents dans le questionnaire qui n'ont pas été retenus comme critères centraux seront, dans la mesure du possible, commun à toutes les filières afin de neutraliser leur influence sur les résultats.

Sur la base de ces profils types, deux prestataires seront retenus pour chaque filière afin de procéder aux analyses d'impacts sanitaires, soit au total 8 prestataires. Dans la mesure du possible tous seront membres du RAE afin de mieux connaître et de renforcer les pratiques *a priori* les plus performantes car respectant l'unique charte existante à ce jour en France, basée sur les recommandations émises par la DGS. Le but de la présente étude n'est en effet pas de stigmatiser les pratiques défaillantes mais bien d'améliorer les conditions environnementales et sanitaires actuelles d'utilisation des TSM et de favoriser la diffusion des bonnes pratiques.



4.1.2. Filières retenues

Le type de matière collectée dans des TSM peut être :

- Des urines pures
- Des urines + litière
- Des excréta + litière
- Des fèces + litière

Au regard des réponses aux questionnaires, il apparaît que les « fèces + litière » représentent très peu les pratiques actuelles des professionnels de la location, en conséquence, le flux « fèces + litière » a vite été écarté. La majeure partie des répondants gèrent « urine + litière » et « excréta + litière » tandis que 50% d'entre eux gèrent des « urines pures ».

Pour définir le 1^{er} maillon pour chacune des 4 filières, trois options soit: (i) prendre chaque flux restant, c'est-à-dire « urine + litière » ; « excréta + litière » ; « urines pures » ; (ii) prendre deux des trois flux ; (iii) prendre un seul des trois flux.

Etant donné que 50% des répondants gèrent des urines pures, et au vu des difficultés logistiques rapportées par certains prestataires sur ce flux-là, il a été décidé de définir une filière avec comme matière collectée, des urines pures.

D'autre part, les matières « urine + litière » et « excréta + litière » étant des flux essentiellement solides (ou semi-solides) qui se « ressemblent » et qui sont le plus souvent traités de façon similaire, il a été décidé de ne prendre que le flux « excréta + litière » pour pouvoir comparer différentes pratiques à l'étape du traitement

Conclusion sur le choix du type de matière collectée :

- Une filière avec de l'urine pure
- Une filière avec « urine + litière »
- Deux filières avec « excréta + litière »

4.2. Définition des trois filières.

4.2.1. Filière Urine Pure

Sur les 20 répondants pratiquant la gestion des urines pures :

- 20% épandent les urines directement
- 10% épandent les urines après dilution
- 5% stockent les urines avant épandage
- 65% ont une pratique « autre », principalement recirculation des urines sur compost ou sur déchets verts.

Même si la pratique la plus représentative est une recirculation des urines pures, sur le compost ou des déchets verts, ce n'est pas le traitement qui a été retenu, car en terme de traitement, il rejoint celui concernant les deux filières « excréta + litière ».

De plus et pour connaître les pratiques de l'unique répondant « stockage avant épandage », nous n'avons pas retenu son cas, car il n'a jamais épandu les urines après stockage puisque pour l'instant il se contente de stocker.

Ainsi, il a été décidé de regarder les pratiques des prestataires adhérents au RAE qui (i) épandent directement, ou (ii) diluent puis épandent. Le croisement des données, nous a permis de voir que sur les 6 structures réalisant de l'épandage d'urines pures, 3 font parties du RAE. Deux d'entre elles diluent puis épandent, et la troisième épand directement.

Une proposition est de choisir un prestataire qui réalise de l'épandage direct et un autre, de l'épandage après dilution. Le choix du nombre de prestataire étant restreint sur cette filière, les autres maillons de la filière (type de contenant et transport) devront être définis selon leurs pratiques.

Tableau 1: Caractéristiques de la filière 1

	Type de matière	Contenant	Transport	Traitement	Valorisation
Filière 1	Urine pure	Cuve 1000L / tonne à lisier	VU, VL, Camion, ou citerne	Sans stockage	Épandage sans et/ou avec dilution

4.2.2. Filières « excréta + litière »

Les réponses au questionnaire ont permis de mettre en avant un fort pourcentage de traitement par compostage, sur une aire privée d'une part, et/ou sur une plate-forme collective d'autre part.

Il a donc été décidé de définir deux filières,

- [filière 2] : sur aire de compostage privé avec ajout de matière carbonée (aire non-étanche),
- [filière 3] : sur plate-forme collective avec ajouts de déchets verts (aire étanche).

À noter que par plate-forme collective, nous parlons d'un compostage réalisé par des professionnels du compostage, sur une plate-forme de compostage. Ces différences de traitement (uniquement matières carbonées ou avec matières carbonées + déchets verts) permettra peut-être de mettre en avant une pratique plus efficace qu'une autre en termes de traitement et de valorisation.

Pour rappel, les résultats de l'étude sur les toilettes sèches familiales avaient montré qu'en compostant avec des matières carbonées (sciure et copeaux d'essences variées) uniquement, la température n'augmentait que faiblement et les résultats des analyses agronomiques ont montré que le pH était encore acide et le rapport C/N trop élevé pour un compost après 1 an de traitement. D'autre part, en ce qui concerne les germes pathogènes, les 1 ans de compostage s'ils étaient suffisant pour les *E. coli*, ne l'était pas pour les *C. perfringens*.

Concernant la [filière 3], et par croisement des résultats, 10 répondants gèrent les matières collectées sur une compostière agricole avec ajout de fumier/déchets verts. De ces 10 répondants, 3 font partie du RAE. De plus, 5 répondants compostent sur aire étanche, dont 3 du RAE.

Par expérience nous savons que certaines plates-formes de compostage collective : (i) accepte les matières issues des TSM comprenant des excréta et (ii) vendent leur compost, normé déchets verts. Aujourd'hui, pour la filière collective s'applique un cadre réglementaire : la norme NF44-051. Cette norme n'accepte a priori pas (ou en tous cas, pas explicitement) les résidus des toilettes sèches. Un risque de refus de participer à l'étude de la part des plates-formes collectives et prestataires concernés existe. **Dans le cadre de l'étude, et si cette filière 3 est validée, se pose la question de la confidentialité des données, pour le prestataire mais également pour la plate-forme de compostage.**

Au-delà du cadre réglementaire, il nous paraît toutefois intéressant de pouvoir obtenir des résultats sur ce type de traitement en termes d'impact sanitaire afin d'évaluer le risque réel de ces pratiques. Il s'agit ici de permettre aux professionnels des TSM de se positionner contre ces pratiques en cas de risque avérés ou de pouvoir au contraire œuvrer pour une évolution de la réglementation en cas d'absence d'impact.

Concernant le maillon transport, les pratiques sont diverses et variées : véhicule léger avec remorque, fourgon, remorque agricole ou poids lourd. Il a été décidé d'en choisir deux qui étaient représentatives des pratiques.

Pour la filière « aire de compostage privée », filière plutôt représentative des événements de petite et moyenne échelle → véhicule utilitaire.

Pour la filière « aire de compostage collective », filière plutôt représentative des événements de moyenne et grande échelle → Camion / poids lourd.

NB : les questionnaires n'ont pas permis d'avoir la relation entre quantité de matières récoltées et contenant et transport. D'autre part, il a été indiqué que parfois les prestataires sous-traitent le transport pour aller jusqu'à la plate-forme de compostage collective.

Concernant le maillon contenant, il est aussi important que le véhicule qui transporte. Dans 90% des cas, la gestion des matières se fait au moyen de poubelles plastiques de 80 litres.

Il a été proposé que dans les deux cas (filières 2 et 3), les contenants soient des poubelles de 80L à couvercle vissable.

Tableau 2: Caractéristiques des filières 2 et 3

	Type de matière	Contenant	Transport	Traitement	Valorisation
Filière 2	Excrétas + litière	Poubelle plastique 60 ou 80 L avec couvercle vissable	Véhicule utilitaire	Compostage sur Plate-forme privée non étanche	Epandage sur culture non alimentaire
Filière 3	Excrétas + litière + déchets verts	Poubelle plastique 60 ou 80 L avec couvercle vissable	Camion ou poids lourds	Compostage sur Plate-forme collective étanche	Epandage sur culture alimentaire

PARTIE II : IMPACTS SANITAIRES POTENTIELS DE LA GESTION DES MATIÈRES DE TOILETTES SÈCHES MOBILES (HORS USAGES PAR LES PARTICULIERS)

1. Contexte, objectifs, méthode

A la suite de la diffusion des enquêtes à destination des structures proposant la location de Toilettes Sèches Mobiles (TSM) et des commanditaires - et du traitement des résultats recueillis, un rapport d'état des lieux des pratiques a été rédigé [12]. Quatre filières de l'assainissement les plus représentatives des pratiques des loueurs vont être suivies :

- Les urines pures
- Les urines mélangées ou ayant été en contact avec de la litière
- Les excréta (fèces+ urines) + litière absorbante (sciures) + litière respirante (paille, etc.) avec un traitement sur une plate-forme de compostage autonome
- Les excréta + litière absorbante (sciures) + litière respirante (paille, etc.) avec un traitement sur une plate-forme de compostage collective.

Le compostage de matières issues de TSM est le traitement le plus répandu. Il permet d'hygiéniser les matières de TSM, de les valoriser par un retour aux sols et d'améliorer leurs propriétés physico-chimiques (structure, augmentation de la matière organique, de la teneur en éléments fertilisants, amélioration du pH et de la porosité du sol, etc.) et biologiques (augmentation de la biomasse microbienne et de son activité) [13] [14].

On parle de compostage autonome lorsque des particuliers compostent chez eux leurs propres déchets organiques (déchets verts, déchets de cuisine, matières fécales ...) alors que le compostage sur une plate-forme collective permet la fabrication de compost à partir des déchets organiques contrôlés qui peuvent provenir de déchèteries du territoire, de l'entretien des espaces verts communaux, de fermes, etc. Le produit final est analysé pour répondre aux normes en vigueur avant la vente aux particuliers.

Dans ce cadre, il convient de vérifier l'innocuité des pratiques réellement mises en œuvre. C'est pourquoi une analyse des risques sanitaires est proposée.

L'analyse des risques sanitaires correspond ici à la définition généralement utilisée dans le domaine de l'alimentation [15]. Ces analyses de risques sont composées de trois modules: une évaluation des risques (qualitative et/ou quantitative), des propositions de mesures de gestion des risques résiduels s'il y a lieu et la communication auprès du public concerné.

L'assainissement est un domaine ayant donné lieu depuis plusieurs siècles à une quantité de textes législatifs et réglementaires ainsi que des travaux d'analyse des risques. De ce fait, il a été décidé de se limiter à :

- Préciser si un ou des textes / recommandations déjà produits vise ou s'adapte à l'utilisation des toilettes sèches mobiles et à la gestion de leurs matières,
- Analyser la logique sanitaire ayant prévalu à l'élaboration des mesures/recommandations en vigueur en France visant à réduire les risques sanitaires associés à l'assainissement que ce soit pour les excréta ou pour les différents rejets ou matières de l'assainissement,
- Produire une réflexion spécifique sur les risques particuliers pour la population en générale ou les travailleurs pouvant être associés à l'utilisation de Toilettes Sèches Mobiles et à la gestion de leurs matières (en dehors du contexte domestique),
- Suggérer des mesures de prévention des risques supplémentaires s'il y a lieu, au regard de la réalité des usages et de la filière.

2. Analyse de l'encadrement juridique relatif à l'assainissement en termes de prévention des risques en santé

2.1. Les textes relatifs à l'assainissement en général

La caractérisation des pratiques étudiées n'existant pas, aucune réglementation ne cadre la gestion des matières de TSM. Il est donc possible de proposer un référencement des textes relatifs des filières de traitement des matières solides de l'assainissement « conventionnel » (Directives Européennes, textes législatifs et réglementaires français, recommandations de l'OMS). Ces différents textes sont consultables dans la PARTIE I de ce rapport, au chapitre 1.2 " Les TSM : quel contexte réglementaire ? "

2.2. Les aspects de prévention des risques sanitaires associés à ces textes

Les premières installations de traitement des eaux usées datent de la Haute Antiquité, il faut attendre la fin du Second Empire en France pour voir commencer à se mettre en place un réseau d'égout significatif à Paris. En réalité, ce sont les premières épidémies de choléra sur le continent européen qui vont déclencher dans les très grandes villes, ce que l'on appellera ensuite les services d'hygiène publique : eau potable, assainissement, poubelles.

C'est en 1902 que la première loi de Santé Publique, déclinée ensuite en Règlements Sanitaires Départementaux, fixe une obligation d'assainissement aux communes au sein desquelles les taux de mortalité par maladies à transmission hydrique sont trop élevés. Les premiers textes visent donc explicitement et directement la prévention des risques dits du péril fécal.

Au milieu du 20^{ème} siècle, avec l'émergence des préoccupations environnementales dans les pays développés, d'autres lois vont apparaître visant à protéger également l'environnement, avant tout les milieux aquatiques superficiels. D'autres enjeux vont être pris en compte dans les réglementations. Il s'agit désormais, d'un retour de la valorisation de ce qui était considéré comme des déchets dû à deux grandes causes : le déficit hydrique et la pauvreté des sols¹⁵. C'est dans l'optique de favoriser cette réutilisation à des fins d'amélioration de la production alimentaire que l'OMS a produit, dès 1973 [16], un premier document concernant cette problématique. Cependant, ce document pointe déjà le fait que dans certaines régions du Monde, le traitement des eaux usées est négligé ou trop sommaire et que de ce fait, la réutilisation des produits de l'assainissement pourrait engendrer des risques sanitaires et environnementaux.

En 2006, toujours dans un souci d'amélioration des conditions de vie, de réduire la pauvreté et la faim dans le monde et d'assurer un environnement plus durable, l'OMS a écrit un document nommé « L'utilisation d'eaux usées, d'excrétas et d'eaux ménagères en agriculture et en aquaculture » [17] pour aider les collectivités à obtenir davantage de récoltes pour l'alimentation et à tirer parti de ressources précieuses comme l'eau et les nutriments. On y trouve différentes recommandations pour atteindre l'hygiénisation des matières basées sur des données scientifiques d'analyse des agents pathogènes et des produits chimiques.

Dans le contexte français récent, la réglementation concernant la réutilisation des eaux usées traitées est également considérée. Elle est cadrée par l'Arrêté du 02 août 2010 [18].

2.3. Réglementation sur les Toilettes Sèches

A ce jour, en France, seul l'article 17 de l'arrêté du 7 septembre 2009 (révisé en 2012 [2]) - fixant les prescriptions applicables aux installations recevant une pollution organique inférieure ou égale à 20 EH - autorise l'installation des Toilettes Sèches (TS) comme mode d'assainissement.

Ces installations sont contrôlées par le SPANC (conformément à l'arrêté de 2009 relatif aux modalités d'exécution de la mission de contrôle des installations d'assainissement non collectif). Notamment, l'étanchéité de la cuve recevant les matières, l'épandage des matières et l'absence de nuisance pour le voisinage et de pollution visible devront faire l'objet du contrôle.

Si à ce jour, aucune loi ne cadre les installations de Toilettes Sèches Mobiles (TSM), il existe cependant quelques recommandations de la Direction Générale de la Santé (DGS) apparues dans un rapport en date de 2010 pour les établissements recevant du public (ERP). On y trouve les recommandations suivantes :

¹⁵ Lire Sabine Barles, « l'invention des déchets urbains »



- Des points d'eau potable pour le lavage des mains doivent être disponibles à proximité immédiate des toilettes et en nombre suffisant. Ils sont équipés de produits de nettoyage des mains et d'un dispositif d'essuyage ou de séchage,
- Un protocole de nettoyage doit être mis en œuvre pour la gestion sanitaire des parois du conduit des WC. A minima, une inspection horaire des WC s'impose,
- Sur le plan de la gestion des matières récupérées, il est impératif que puisse être mis en œuvre une filière de traitement par compostage des matières fécales à des fins d'hygiénisation,
- Les conditions de compostage des matières fécales doivent être maîtrisées,
- A défaut de compostage mis en œuvre selon les conditions présentées dans le rapport, toute opération d'assainissement par Toilettes Sèches en ERP (Equipements Recevant du Public) doit être couplée à une possibilité de dépotage des matières en STation d'Épuration (STEP),
- L'épandage direct des matières fécales doit être interdit.

2.4. Conclusion et recommandations

Tous les documents, qu'ils soient réglementaire ou à titre de recommandations, quel que soit leur âge, montre que les risques associés aux excréments sont définis comme l'ensemble des maladies pouvant être transmises par les eaux usées, les déjections (humaines ou animales), directement ou indirectement et doivent être contrôlés. L'ensemble des recommandations met en évidence que les risques peuvent être prévenus en agissant selon deux dimensions :

- un prétraitement ou un traitement de ces matières visant leur hygiénisation (diminution de la charge en agents pathogènes potentiellement présents),
- des limitations d'utilisation de ces produits, en tenant compte des usages des milieux récepteurs.

Ceci confirme la nécessité de conduire une analyse raisonnée des risques pouvant être associés à l'utilisation des TSM et à la gestion des matières produites. Cette analyse constitue le troisième chapitre de cette partie

3. Analyse de la filière « Toilettes Sèches Mobiles » : élaboration des schémas d'exposition

3.1. Rappel sur la filière et ses usages

Plus de 95% des Toilettes Sèches Mobiles présents lors d'un événement sont des « Toilette Sèche à compost » de la famille des TS unitaires¹⁶, c'est-à-dire sans séparation urines / matières fécales.

La collecte de l'ensemble des excréments se fait dans des réceptacles situés en dessous de la toilette. Un ajout de litière, dite absorbante et couvrante, est effectué après chaque passage. À la fin de l'évènement, l'ensemble des matières est acheminé vers une plate-forme de compostage (autonome/personnelle ou collective), où un ajout de litière « respirante » est effectué (broyat, paille, etc.). Ces excréments contiennent de nombreux micro-organismes (bactéries, virus, parasites) pathogènes ou non. On estime qu'un gramme de fèces contient 10^{12} bactéries (flores totales) dont 10^8 d'*E. coli*.

Dans le cas des TS, les excréments sont le plus souvent hygiénisés par « compostage » avant réutilisation. Procédé de dégradation aérobie exothermique, il permet une montée en température de la matière et d'obtenir un produit stable, et pouvant être utilisé comme amendement agricole.

L'étude de la « Gestion des matières des Toilettes Sèches familiales » [19] conclue qu'après une année de traitement des matières fécales certains paramètres sont compatibles avec les seuils de la norme tel que la décroissance de certains indicateurs (*E. coli* et Entérocoques). Cependant d'autres indicateurs sont toujours présents, prouvant que la durée de compostage doit être d'au moins 1,5 ans (sous réserve de la bonne conduite du processus de compostage : montée en température).

¹⁶ Voir la classification du RAE dans rapport « état des lieux des pratiques » [12]

3.2. Dans le cas des TSM, les matières traitées et tamisées peuvent être valorisées à la parcelle. Élaboration des schémas conceptuels d'exposition

Pour qu'il y ait risque sanitaire vis-à-vis d'une substance dangereuse, il est nécessaire qu'il y ait exposition à cette substance. L'analyse des risques doit alors passer par la réalisation d'un « schéma conceptuel d'exposition ». Il s'agit de détailler chacune des étapes de la filière, afin d'étudier si une ou plusieurs personnes peuvent être en contact avec des produits ou matières contenant des agents dangereux, et si oui, dans quelles conditions. La constitution du schéma conceptuel doit permettre :

- D'identifier les sources de pollution (origines, composition), et les agents dangereux pouvant leur être associés,
- D'identifier les différents milieux de transfert, leurs caractéristiques et les éventuels effets associés (survie, inactivation, modification, pression de sélection, etc.),
- D'identifier les usagers et populations à protéger,
- De préciser les relations / interactions qui existent entre les trois thèmes précédents.

Ainsi, les questions à se poser pour établir un schéma conceptuel sont : qui ? quoi ? où ? comment ? à quelles fréquence et intensité ?

La réponse à ces questions n'est pas toujours quantitative, mais elle doit être à minima qualitative. Dans le cas précis des TSM, l'analyse « filière » est indispensable à l'établissement des schémas conceptuels d'exposition. L'ensemble du processus, depuis la pose des toilettes mobiles sur les événements, jusqu'à l'étape ultime de valorisation des matières collectées a été analysé.

Les phases démontrant l'exposition d'une personne (prestataire, salarié ou bénévole) à des agents infectieux d'origine fécale sont les suivantes : la collecte, le transport, le traitement et la valorisation des matières.

Il est à préciser que l'analyse porte uniquement sur les risques sanitaires qu'encourent les professionnels de la filière d'assainissement.

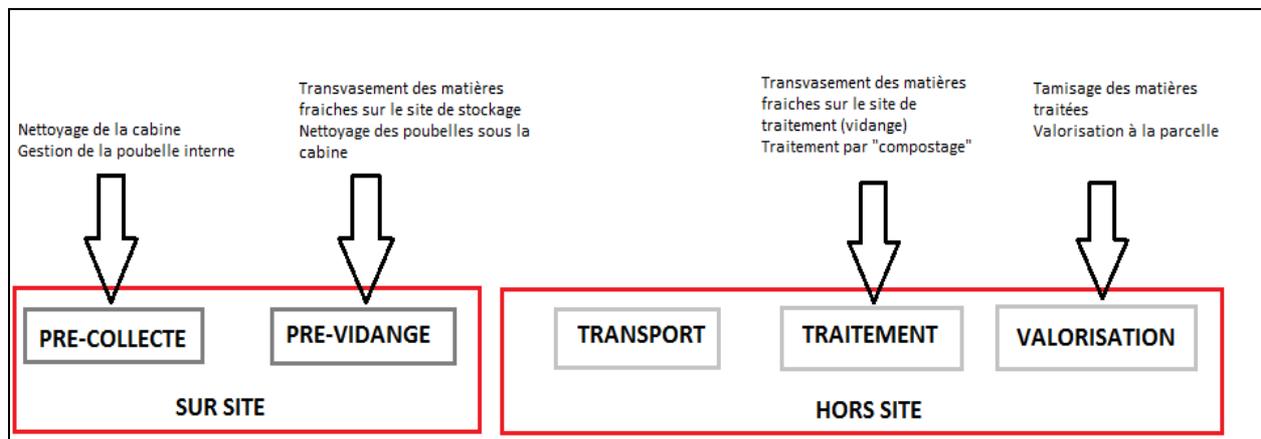


Figure 70: Schéma global des maillons définis

3.2.1 La collecte

Ce maillon se découpe en trois temps de travail :

- la pose de la TS, le plus souvent effectuée par le prestataire ou ses salariés (rarement par un membre de l'organisation),
- l'entretien de l'intérieur de la cabine (prestataire ou bénévoles pour près de 80% des événements référencés),
- le démontage.

La pose des TS n'implique pas de risques sanitaires a priori, contrairement aux temps de travail de nettoyage des cabines et de démontage.

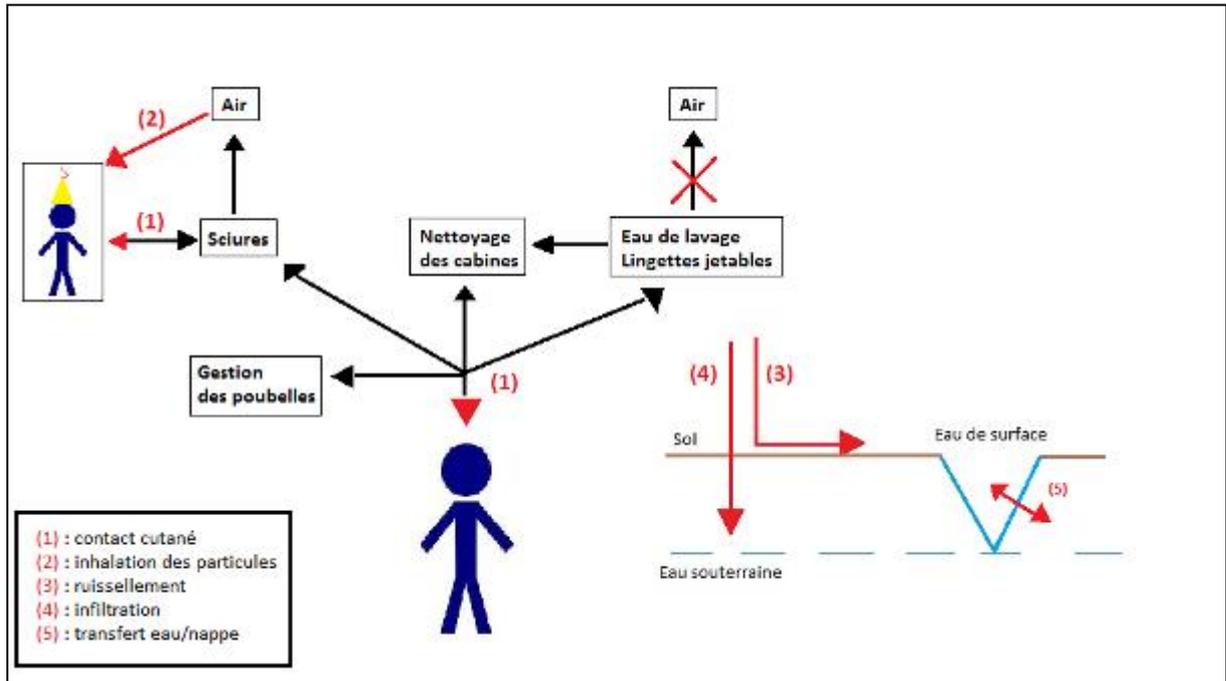


Figure 71: Schéma d'exposition pour le maillon « collecte »

17

D'après l'article R4424-5 code du travail [20], il est rendu obligatoire aux salariés d'utiliser des équipements de protection individuels (EPI) afin d'éviter tout risque de contamination. A priori, les salariés sont donc moins exposés aux risques sanitaires que les bénévoles...

L'opérateur (protégé ou non) peut être exposé aux agents dangereux microbiologiques lorsque qu'il nettoie le siège, les poignées de porte ou manipule les poubelles se trouvant dans la cabine. Dans ces poubelles, il est possible d'y retrouver des « indésirables du compostage » riches en pathogènes (serviettes hygiéniques, préservatifs usagés, etc.). Il est donc nécessaire d'être vigilant afin d'éviter toute contamination (voie d'exposition 1). L'enquête auprès des prestataires indique que le produit le plus fréquemment utilisé lors du nettoyage des cabines et des réceptacles est un mélange d'eau et d'huiles essentielles ; viennent ensuite le savon, le désinfectant écologique, le vinaigre blanc et l'eau de Javel, cf figure 72.

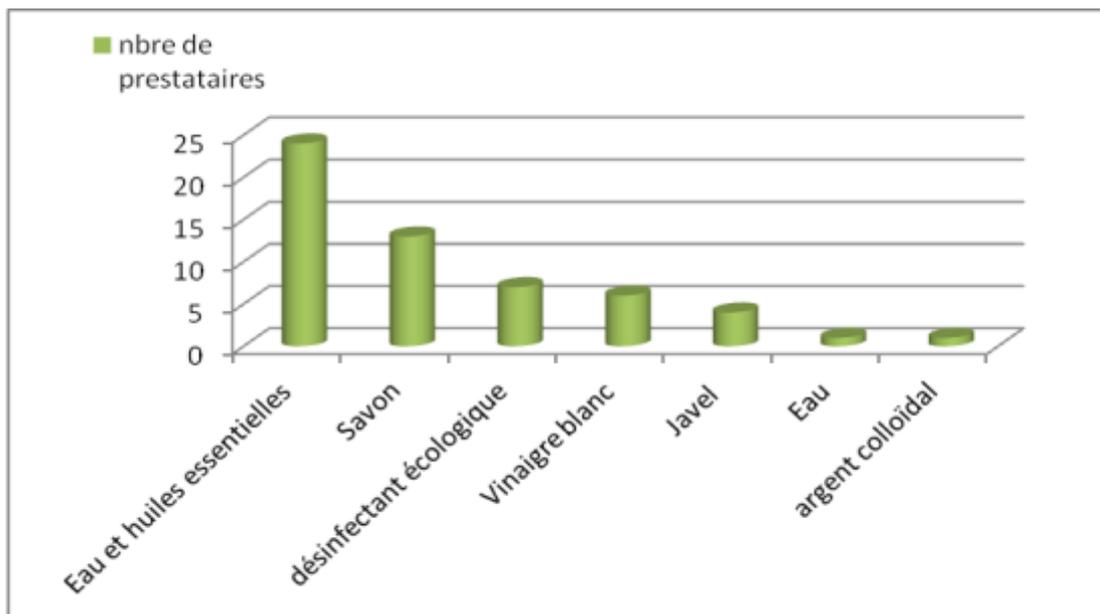


Figure 72: Type de produit utilisé pour le nettoyage des cabines

¹⁷ Une voie de transmission barrée signifie qu'a priori la probabilité de contamination est faible.

Il est à noter que le nettoyage est réalisé dans plus de 90% des cas après chaque vidange soit tous les 15-30 min selon l'affluence.

Les publications prouvent que les huiles essentielles (HE) ont un pouvoir désinfectant certifié [21] [22] [23]. Plusieurs études ont montré des fuites d'ions Potassium des cellules d'*E. coli* et d'Entérocoques prouvant la lyse/mort de ces micro-organismes indicateurs de contaminations fécales, en contact d'HE (thymol).

Dans le cas du lavage des réceptacles [nettoyés après chaque vidange pour 75 % des répondants, en fin de journée pour 6 % et en fin d'évènement pour 19 %], où cette eau de lavage, chargée en pathogènes, est-elle rejetée / éliminée ?

Cela peut dépendre de plusieurs facteurs : la taille de l'évènement, le volume d'eau de lavage utilisé, le type de sol (terre, bitume, perméabilité..), etc. A priori, si les eaux de lavage sont déversées sur un terrain faiblement argileux ou enherbé avec une nappe éloignée, le risque environnementale est faible (ainsi les voies 3-4-5 sur le schéma d'exposition peuvent être supprimés) - contrairement au cas où elles sont déversées en zone inondable.

Cette question n'a pas été posée lors des enquêtes, il est donc suggéré de réaliser une campagne d'observation lors du déroulement de l'étude. Le nettoyage en service n'est peut-être pas suffisant pour garantir que toutes les parties à manipuler en démontage ont bel et bien été désinfectées. L'inhalation par l'opérateur en charge du nettoyage de microgouttelettes d'eau souillée est possible.

Un ajout de litière absorbante (majoritairement de la sciure/copeaux) est réalisé après chaque passage. Si la nature de cette litière est très variable d'un loueur à un autre, il est possible de se demander si elle est traitée chimiquement ou non contre les champignons ou les moisissures avant la vente et si elle représente un risque d'inhalation (voie d'exposition 2) pour l'utilisateur ou l'opérateur lorsqu'il renouvelle le stock de litière situé dans la cabine ?

D'après les structures qui seront suivies, les sciures/copeaux proviennent de menuiseries / scieries ou d'entreprises de meuble, non traitées (supprimant d'éventuel risque allergène pour l'opérateur et le festivalier) dans tous les cas et dont la provenance est bien traçable. Il est observé par certains professionnels que les copeaux de bois (plus souvent utilisés en festival) comportent moins de particules fines. Cependant le risque d'inhalation de poussières existe, dépendant de la granulométrie de cette dernière.

Une campagne d'observation est suggérée sur la provenance et le traitement éventuel de la sciure et des copeaux, ainsi que sur la granulométrie.

3.2.2 La pré-vidange

On observe sur place deux types de collecte des matières :

- Pour les excréta + litière absorbante, des vidanges régulières des réceptacles (de 60 ou 80L) sont effectuées (que l'on nommera : pré-vidange). Ces matières sont entreposées dans une zone de stockage (il peut s'agir de bacs, cuves ou de bennes dans une zone non accessible au public),
- Pour les urines + litière (mélange sciure + copeaux très majoritairement), des pré-vidanges peuvent avoir lieu, dans ce cas elles suivent le même schéma que les excréta.
- Pour les urines « pures », elles sont directement collectées dans de grands bidons (entre 100-1000L), la pré-vidange n'est alors pas nécessaire. Elle ne rentre pas en compte dans le schéma conceptuel ;

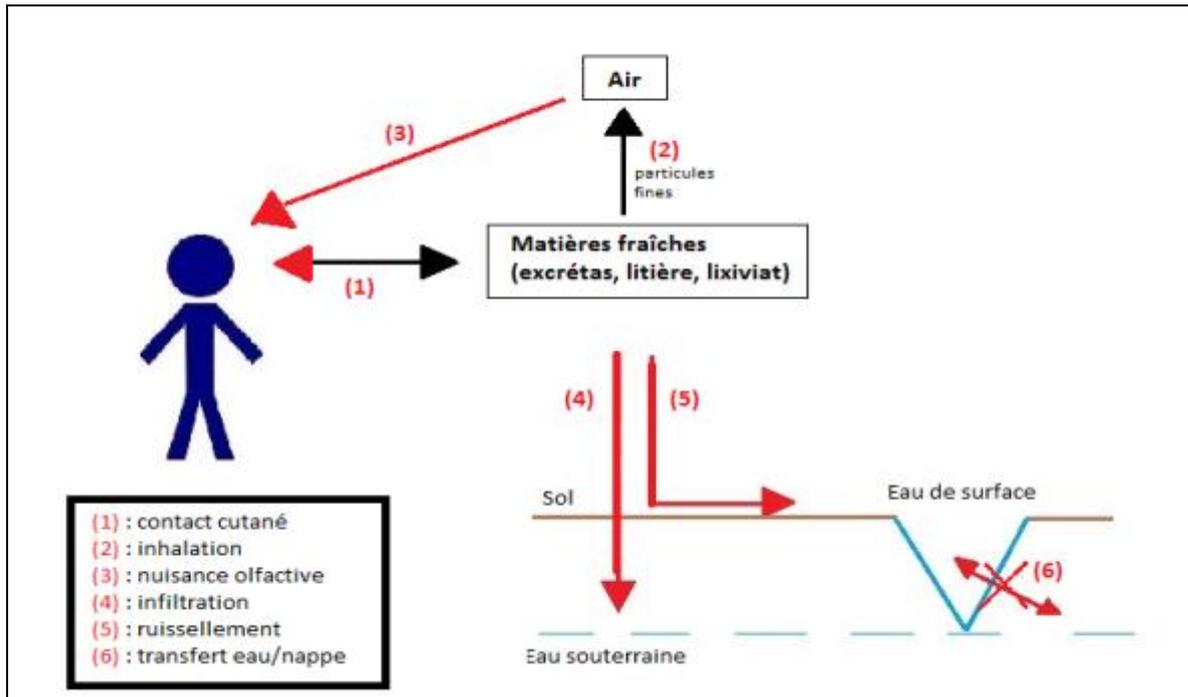


Figure 73: Schéma conceptuel pour le maillon « collecte » des matières fraîches

Des risques d’infiltration et de ruissellement peuvent exister sur la zone tampon (de stockage temporaire). La situation est propre à chaque site. Il est donc suggéré de mener une campagne d’observation lors des actions de terrain sur les festivals. Deux types de pratiques sont observés :

- Les matières fraîches sont dans un sac en amidon, biodégradable (pratique minoritaire) ; auquel cas l’opérateur regroupe tous les sacs attachés sur la zone tampon (zone proche de l’évènement mais sécurisée)
- Les matières fraîches se trouvent dans un réceptacle, l’opérateur doit alors le vidanger dans une cuve plus grande sur la zone de stockage.

Un risque de contamination cutanée ou d’ingestion par éclaboussure existe lors du transvasement du mélange excréta et litière absorbante sur la zone temporaire de stockage. Il faut préciser que dans plus de 80% des cas, l’individu qui manipule ces matières porte des gants.

3.2.3 Le transport

L’analyse du risque sanitaire lors du transport des matières sera mesuré pour les filières excréta + litières dans deux types de véhicule distincts : un utilitaire et un poids lourd.

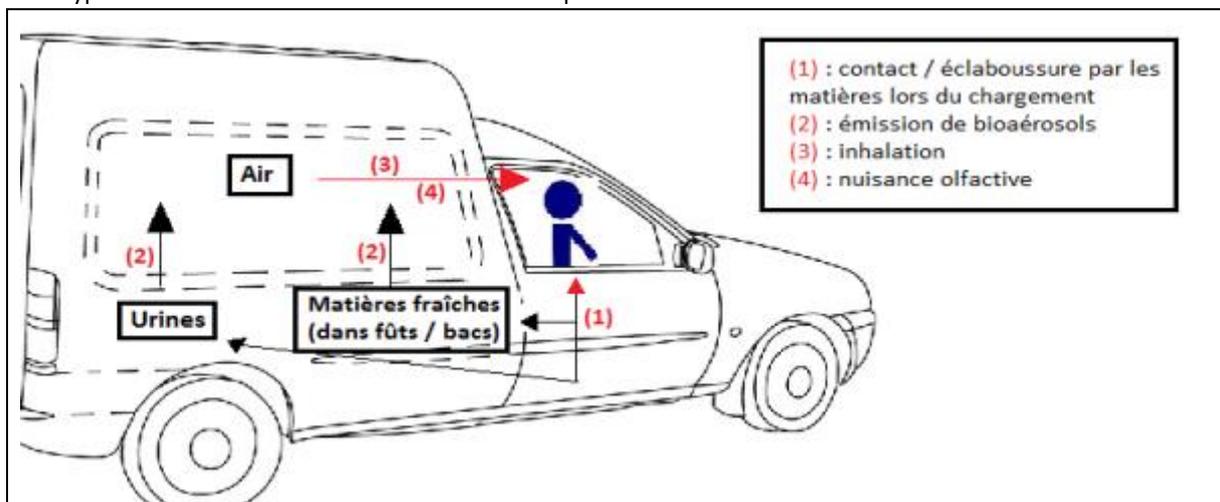


Figure 74: Schéma conceptuel pour le maillon « transport » des matières fraîches dans le cas d’un véhicule utilitaire (pas de séparation avec l’habitacle)

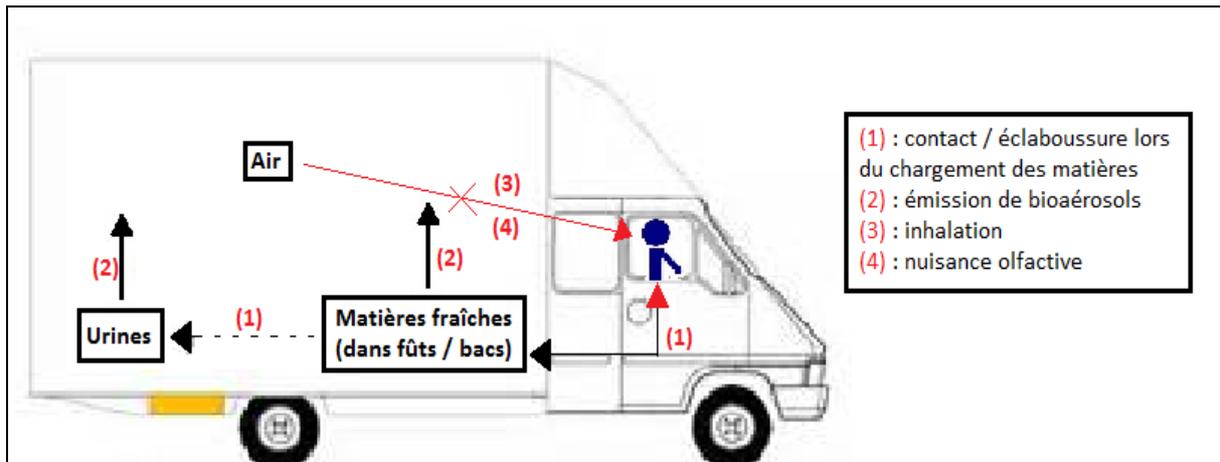


Figure 75: Schéma conceptuel pour le maillon « transport » des matières fraîches dans le cas d'un camion (séparation avec l'habitacle)

L'analyse des émissions de particules fines (litière ou fines gouttelettes d'urine) semble peu pertinente à réaliser. D'une part, parce que la distance séparant le lieu de l'évènement et l'aire de compostage est généralement inférieure à 150km et d'autre part car les matières collectées sont placés dans des réceptacles étanches et/ou hermétiques.

Comme le mentionne le rapport de 2007 « Base scientifique de l'évaluation des risques sanitaires relatifs aux agents pathogènes » [24], il existe peu de données sur les bioaérosols générés par les boues. Tandis qu'il existe une plusieurs dispositifs d'échantillonnage des bioaérosols (de trois catégories distinctes : impaction sur une surface solide ou semi-solide comme de la gélose, "méthode impiger" = barbotage dans un liquide et filtration). Les erreurs de mesures et les protocoles étaient encore divers et nombreux [25] jusqu'à récemment. Aujourd'hui, des progrès ont été faits bien que les prélèvements aériens soient complexes. Il est possible de les mettre en œuvre en gardant en tête les variations en microorganismes dans l'air engendrée par des actions à des moments clés du compostage (retournement des tas, manipulation des produits de manière générale) [26]. Le décomptage des micro-organismes dans l'air est alors très souvent faussé, malgré les répliques d'analyses effectués. De plus, les effets infectieux par inhalation nécessitent que le micro-organisme pathogène soit vivant et ait gardé son pouvoir infectant. Or, en réalité, les agents pathogènes (bactéries, virus et parasites) dans les aérosols de matières premières fraîches sont peu nombreux. [26]

Par ailleurs, il est déconseillé d'utiliser un véhicule particulier afin d'éviter tout risque de salissures et de « contamination indirecte ».

3.2.4 Le traitement

❖ Les urines

Seront suivi les filières urines pures et urines + litière collectés dans des cuves de 1 000L.

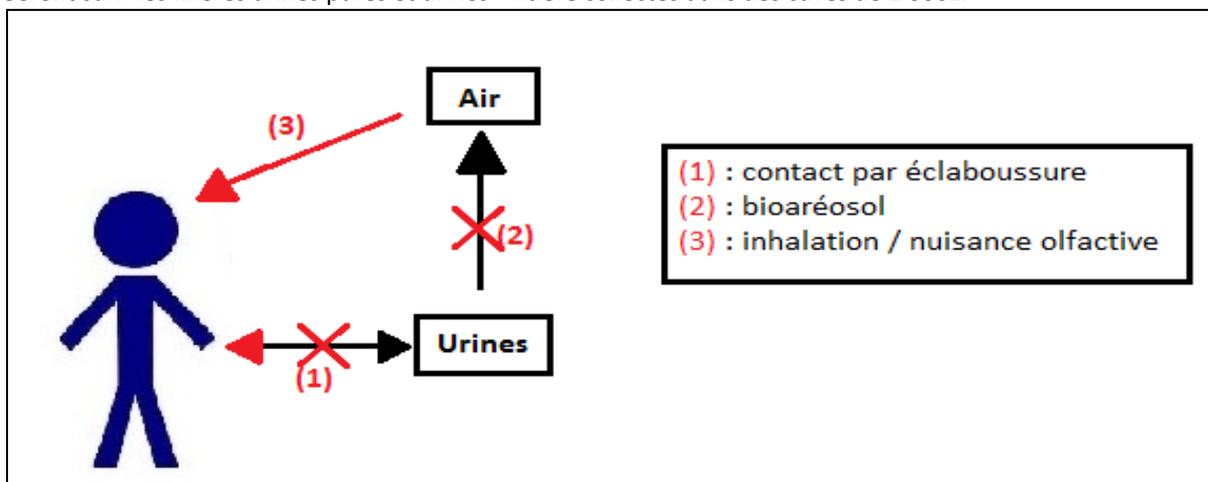


Figure 76: Schéma conceptuel pour le maillon « traitement » des urines

Majoritairement les urines collectées lors d'un évènement sont recirculées pour ajuster l'humidité des matières en cours de traitement et sont donc traitées par « compostage »¹⁸. On trouve en seconde position le traitement des urines par stockage ; dans ce cas seule la voie d'exposition 3 est observable (nuisance olfactive).

Les urines sont généralement stériles quand elles quittent l'organisme. Ceci n'est pas le cas lorsque l'individu présente une infection urinaire due à des bactéries du genre colibacille ; responsable entre autre de la cystite. Il est également possible de retrouver les *Leptospira interrogans* (généralement transmis par les animaux infectés), *Salmonella typhi*, *Salmonella paratyphi* et *Schistosomia haematobium* [27] [28].

D'après les données de l'Anses, peu de cas d'infection par *Schistosomia* (ou bilharziose) sont détectés (variation en fonction des années, par exemple 1 seul cas a été détecté en Corse en 2014) en France. Le taux de prévalence et d'incidence étant faible (voire quasi nulle), on peut considérer ces agents infectieux comme inexistant en France métropolitaine. De même pour les *Salmonella typhoïde* et *paratyphoïde*. De nos jours, ces organismes ne sont présents que rarement dans les pays développés [27] [29].

Les indicateurs fécaux usuels comme *E. coli* ne sont pas utilisables pour le suivi de la contamination fécale de l'urine, en raison de leur brève durée de survie dans l'urine (OMS, 2006).

Afin de garantir l'innocuité de ces urines, l'OMS préconise des temps de stockage et des applications sur des cultures différenciées suivant la température permettant l'augmentation du pH (aux alentours de 9) de la solution et l'inactivation des pathogènes présents ; ce qui consiste à un traitement sans manipulation et sans risque pour l'individu lors de cette étape. Si ces conditions de stockage sont assurées dans les villes du Sud de la France, ce n'est pas le cas pour la moitié Nord du territoire français métropolitain¹⁹. Ainsi, la durée du traitement doit être automatiquement augmentée.

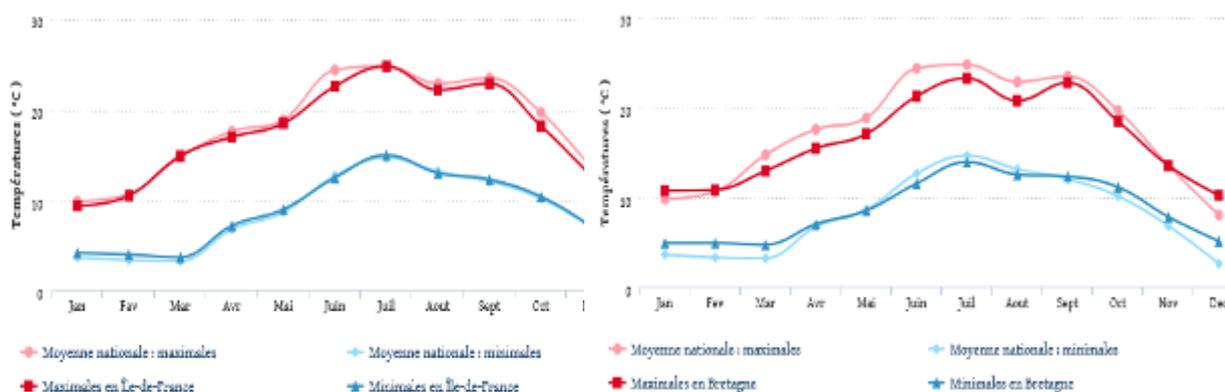


Figure 77: Graphiques des moyennes de températures de 2014 pour les régions du Nord de la France (à gauche Ile-de-France et à droite Bretagne)

¹⁸ Lorsque l'urine est recirculée, le risque « contact » par éclaboussure est possible.

¹⁹ Source : MeteoFrance.com

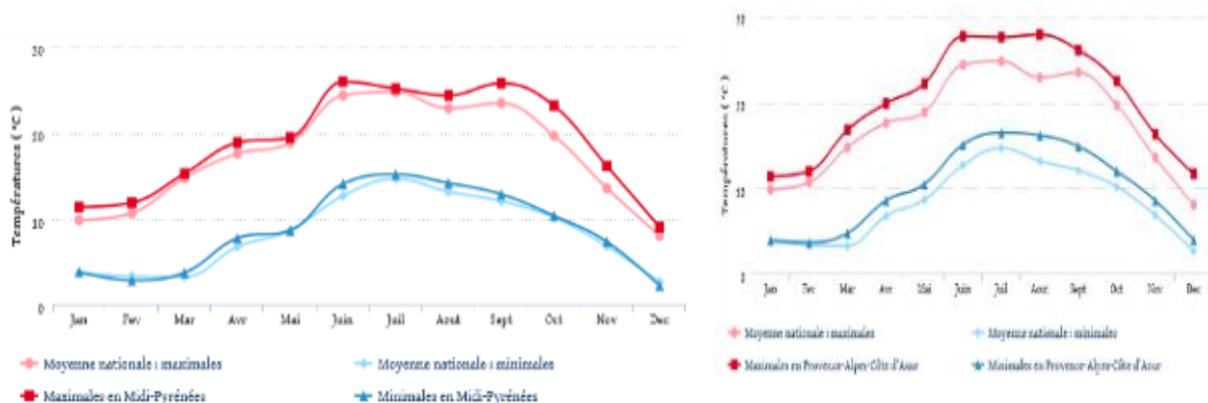


Figure 78: Graphiques des moyennes de températures de 2014 pour les régions du Sud de la France (à gauche Midi-Pyrénées et à droite Provence-Alpes Côte d'Azur)

On peut voir sur les figures 78 et 79 que pour les régions du sud les moyennes des températures mensuelles sont supérieures à 20°C sur une période de 6 mois (et plus dans certains cas). Ce n'est pas le cas pour les régions du nord de la France métropolitaine (Bretagne et Île-de-France). Ainsi, seule la mesure du pH (vers un pH basique supérieur ou égal à 9) permet de valider l'hygiénisation du produit.

L'urine est composée essentiellement d'eau (95%) et d'urée (3%). Cette urée se décompose naturellement selon la réaction suivante : $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + 3 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{NH}_4^+ + \text{OH}^- + \text{HCO}_3^-$

Le milieu devient basique par la formation d'ions hydroxyde et carbonates, se traduisant par une augmentation de pH. L'augmentation de l'ion ammonium associé au pH basique permettent l'inactivation des micro-organismes pathogènes grâce à la formation de l'ammoniaque dans la solution ($\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{NH}_3(\text{aq})$) [29] défavorable à la majorité des micro-organismes.

Ce stockage a un avantage double : une hygiénisation des urines par destruction des agents pathogènes et une précipitation du Phosphore et de l'Azote, évitant le phénomène d'eutrophisation d'eau de surface. Une autre étude a démontré que la combinaison de l'urée (contenu dans l'urine) et de températures comprises entre 14 et 34°C permet d'abattre efficacement les pathogènes présents dans les matières à traiter (comme le *Salmonella* et *E. coli*) grâce à l'augmentation du pH [30].

Un risque d'eutrophisation du milieu subsiste tout de même. Cela est dû aux pertes d'Azote et de Phosphore de la zone de traitement, par ruissellement/érosion vers les eaux superficielles, et/ou percolation verticale au-delà de la zone racinaire vers les eaux souterraines. Ces pertes sont fortement liées à la séquence climatique qui suit l'apport (pluies déclenchant un drainage qui entraîne les nitrates en profondeur), au type de sol sur lequel est fait l'épandage et au système de culture.

❖ Les excréta

Au regard des premiers résultats de l'état des lieux des pratiques de gestion des matières de TSM, deux traitements des excréta distincts seront suivis :

- sur une plate-forme de compostage autonome, non étanche, avec ajout de litière respirante (broyats, brindilles, paille, etc.) et de déchets de cuisine.
- sur une plate-forme de compostage collective, étanche (avec récupération et traitement des lixiviats - comme exigé par la norme de 2009) [31], avec ajout d'autres déchets biodégradables (déchets verts, etc. non spécifié pour le moment)

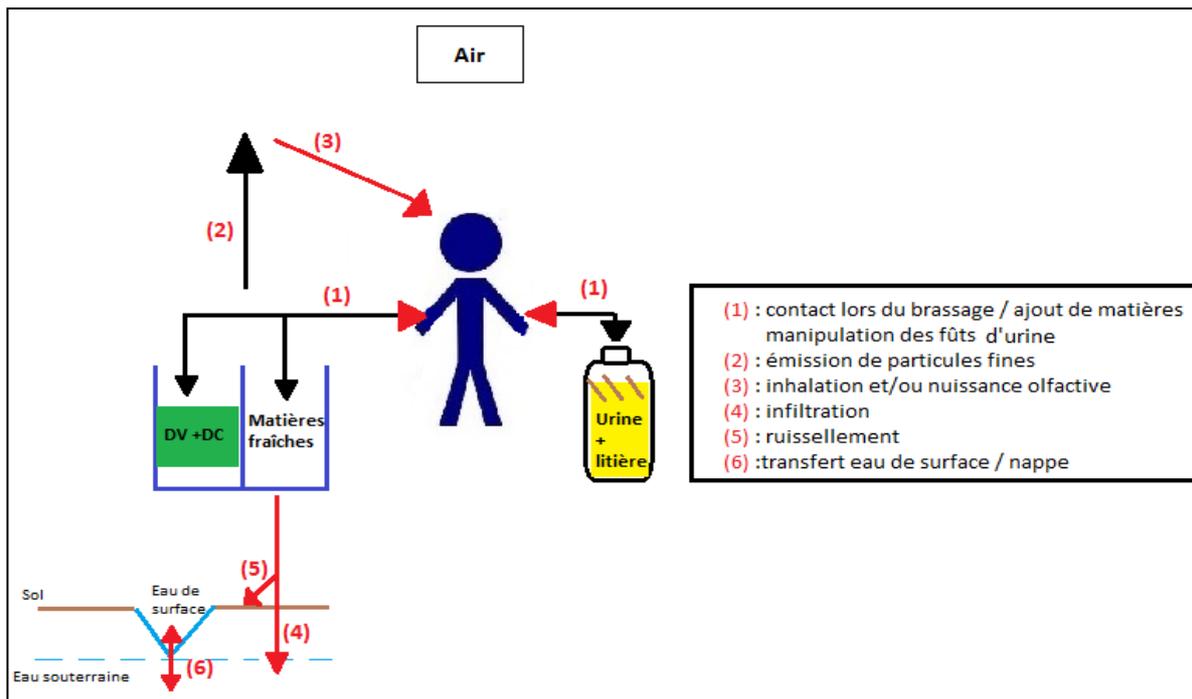


Figure 79: Schéma conceptuel pour le maillon « traitement » des matières fécales sur une plate-forme autonome non étanche

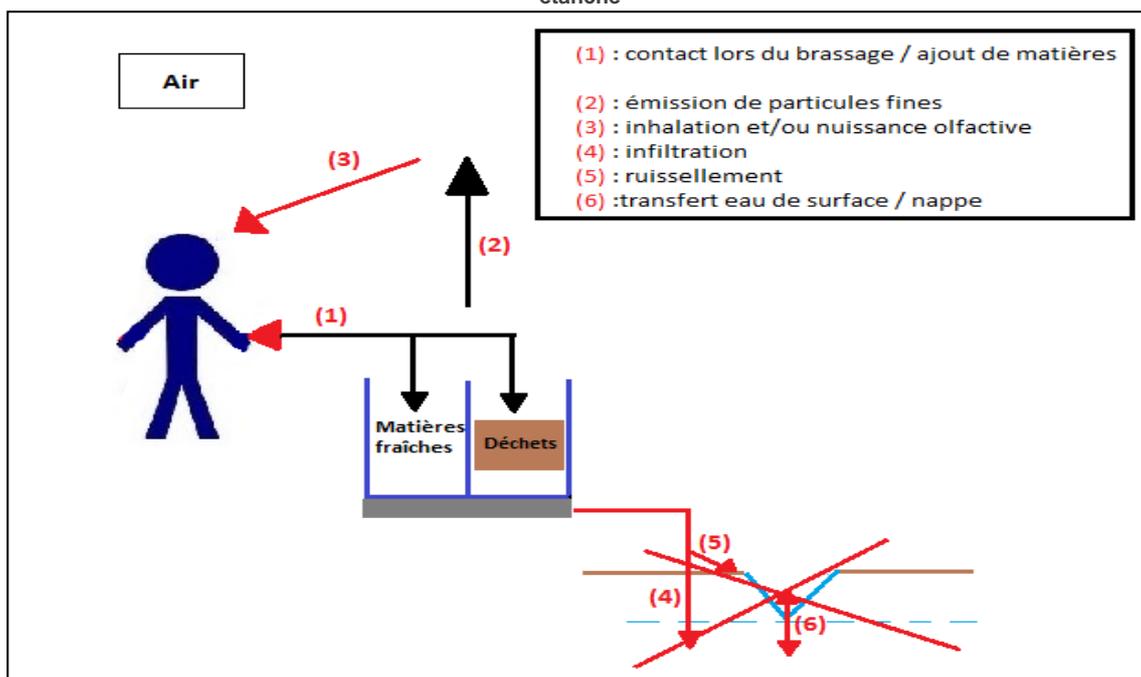


Figure 80: Schéma conceptuel pour le maillon « traitement » des matières fécales sur une plate-forme collective autorisée étanche

Dans le cas du traitement par compostage sur plate-forme autonome, l'arrosage du tas par les urines + litière entraîne un risque d'éclaboussures sur la peau et/ou les vêtements. Lors du brassage du tas en phase de traitement ou traité, on peut observer la mise en suspension dans l'air de certaines matières asséchées. Il y a alors un risque par contact et surtout un risque d'inhalation des particules fines comportant des micro-organismes pathogènes (= bioaérosols) provenant des excréta à l'origine mais également ceux apparus lors du compostage (bacilles, actinomycètes et champignons). Ce risque est accru lors des phases de brassage. Ils peuvent représenter un risque allergique pour l'opérateur. En particulier, pour les composts très secs les particules pénètrent plus profondément l'arbre respiratoire. Nous soulignons qu'un compost bien géré se doit de rester humide.

Les déchets verts (DV) correspondent à des tontes de gazon, de la taille de haies, des branches d'élagage, des feuilles mortes et des fleurs mises au rebut. Les déchets de cuisine sont divers et variés, ainsi une multitude d'agents pathogènes peuvent être retrouvés.

Dans le cas de la plate-forme collective, les percolats (eau de pluie et urines ayant été en contact avec les fèces) chargés en micro-organismes pathogènes sont récupérés dans des bassins puis sont traités afin d'abattre la DCO avant rejet. Ainsi le risque de pollution des eaux de surface et de la nappe est quasi nul. Les voies d'exposition 4 -5-6 sont donc inexistantes, contrairement au traitement sur une plate-forme autonome, où nous ne connaissons pas les volumes de lixiviat produits.

3.2.5 Valorisation

❖ Les urines

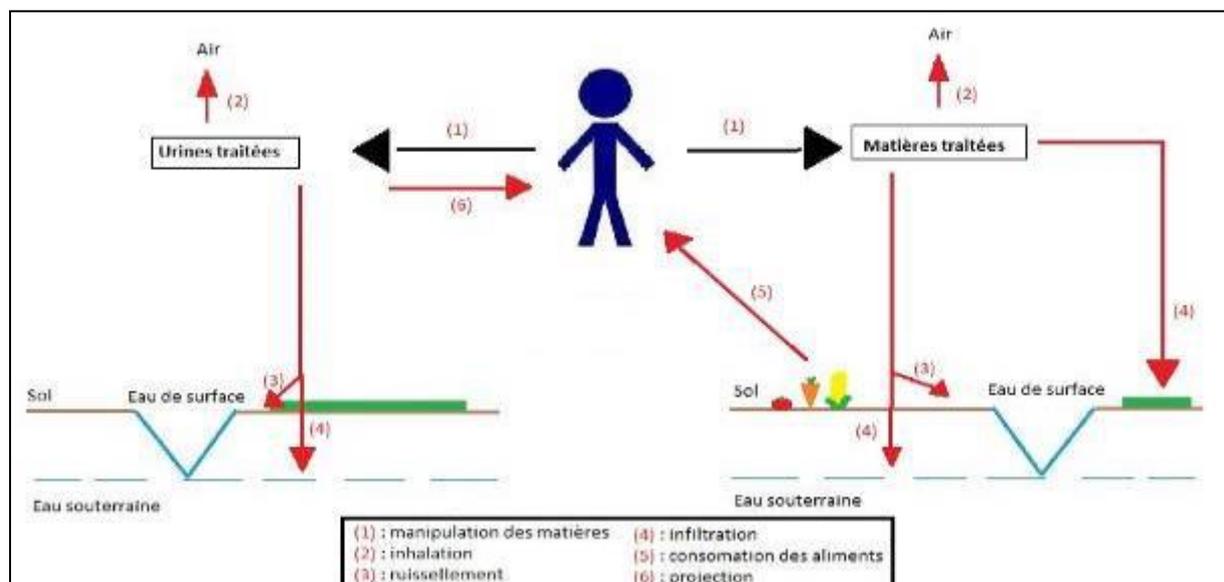
De nombreuses expériences ont été réalisées sur l'utilisation des urines comme engrais. Cette valorisation semble intéressante puisque les urines contiennent les principaux nutriments. Dans le cas des eaux usées domestiques, 80 % de l'azote, 55 % du phosphore et 60 % du potassium proviennent des urines [27].

❖ Les fèces

L'hygiénisation a été définie (en 1998) par le Conseil Supérieur d'Hygiène Public de France²⁰ comme un traitement qui vise à réduire à des niveaux acceptables les concentrations d'agents pathogènes dans les boues. Les boues sont considérées comme hygiénisées si en sortie de système les concentrations sont inférieures à certaines valeurs limites. [33] Les matières compostées, avec ou sans ajout de déchets verts/cuisine/ou autre, retourneront aux sols après 1,5 ans de maturation minimum [19] (pour le compost personnel – durée de maturation réduite pour les plates-formes de compostage). C'est le temps nécessaire pour que la dégradation aérobie des matières ainsi qu'une montée en température supérieure à 50°C sur une durée de 15 jours, puissent avoir lieu et abattre les pathogènes présents. On donne dans les réglementations les couples temps température suivants :

- 55°C pendant 14 jours,
- 60°C pendant 7 jours,
- 65°C pendant 3 jours ;

Cependant il est difficile d'atteindre ces conditions d'hygiénisation des matières avec des petits volumes. Ce qui n'est pas le cas pour les plates-formes traitant de gros volumes. L'étude sur les TS familiales [19], des petits volumes donc, a démontré qu'il n'y avait pas de montée en température significative (>50°C – entre autre dû aux faibles volumes traités), cependant l'abattement de certains indicateurs de niveau de traitement est observé, grâce à d'autres facteurs de destruction (celui de la durée notamment).



21

Figure 81 : Schéma conceptuel pour le maillon « valorisation » des matières traitées

²⁰ LE CSHPF n'existe plus et ses activités ont été reprises par l'ANSES

²¹ Matières traités : excréments + urines + litière

Après le traitement, des éléments grossiers peuvent subsister et renfermer des agents infectieux. Il est donc nécessaire de tamiser avant toute valorisation et de remettre le refus de tamis au compost. L'inhalation des poussières lors du tamisage est un risque sanitaire pour l'opérateur, il est préférable d'utiliser un masque pour réaliser cette action et lors de l'épandage sur la parcelle.

L'exposition directe aux différents polluants et agents pathogènes se produit par le contact cutané, l'inhalation de particules de sol ou de fractions de compost en suspension, l'ingestion due à une mauvaise hygiène (mains sales).

De manière indirecte, la contamination est possible par la consommation de fruits ou de légumes ayant été en contact avec un compost mal hygiénisé et n'ayant pas été lavés. Nous centrons notre travail sur les risques sanitaires spécifiques pouvant atteindre les professionnels. Nous estimerons que si les matières traitées sont assainies alors le risque indirect cité ci-dessus est nul.

3.3. Synthèse

Les différents schémas conceptuels d'exposition ont été élaborés à partir d'observations empirique et de retours d'expériences. Ils reposent sur les risques sanitaires auxquels les opérateurs peuvent être exposés ainsi que la population en général via une contamination environnementale.

En ce qui concerne les risques professionnels, il a été montré que pour réduire au maximum l'exposition, l'opérateur doit porter l'équipement suivant :

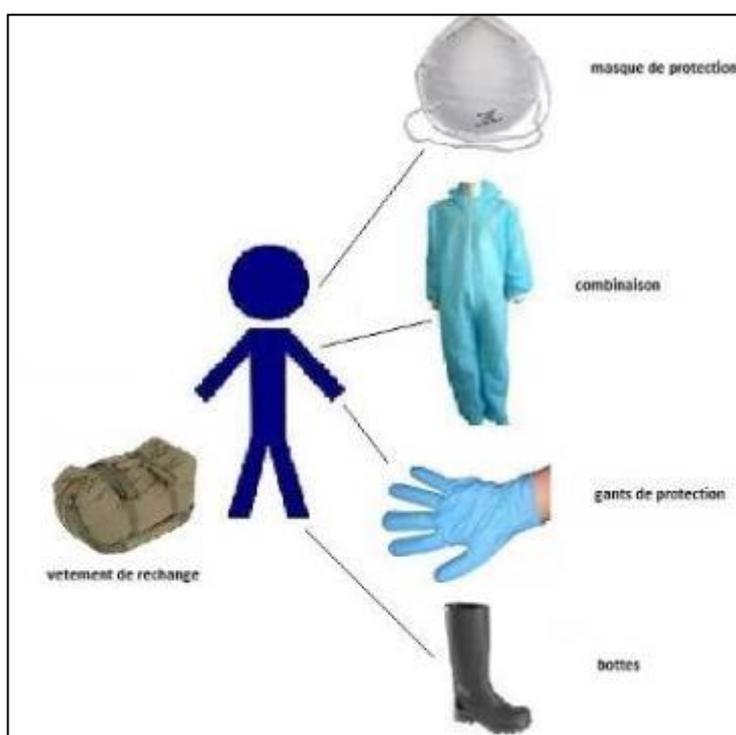


Figure 82 : Suggestion de l'équipement de l'opérateur

Le port de gants, de vêtements longs ainsi que d'un masque sont fortement recommandés à tous les maillons de la filière d'assainissement (comme suggéré dans la charte du RAE). Un point de lavage est nécessaire à chaque étape afin de réduire au maximum les contaminations post-opératoire.

Dans le rapport « Directives de l'OMS pour l'utilisation sans risques des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères, volume IV 2006 » [32], il est préconisé d'utiliser des équipements de protection individuelle. Lesquels ? Le rapport ne les liste pas, cependant nous pouvons imaginer qu'il s'agit de ceux décrits dans la figure 83. Par analogie, les vidangeurs agréés en ANC ont l'obligation de porter les mêmes EPI (Équipements de Protection Individuelle) réglementaires²².

²² Source : http://www.travailler-mieux.gouv.fr/spip.php?page=risque-prevention&id_article=2



Par analogie, l'INERIS recommande pour les agriculteurs qui épandent :

- Le port de vêtements de travail spéciaux à ôter en dehors du lieu de l'épandage pour éviter tout transfert de contamination
- Le lavage sélectif des vêtements
- Le port d'un masque
- Une hygiène personnelle stricte afin d'éviter toute ingestion accidentelle de boues.

Idem pour l'INRS²³ qui préconise (entre autres) aux professionnels de l'assainissement tels que les égoutiers ou les travailleurs en STEP :

- d'avoir une tenue de travail
- de prendre une douche après le travail
- de se changer avant de quitter le travail.

L'analyse des risques résiduels va être faite en tenant compte de ces différents schémas d'exposition, et des informations collectées lors des visites de terrain en festivals et sur les plates-formes de compostage pour observer la réalité du respect des règles d'hygiène pour les « travailleurs ». Nous notons qu'une partie des travailleurs est bénévole, ce qui complique l'obligation du respect de ces recommandations.

4. Analyse des risques spécifiques éventuels liés à la filière toilettes sèches mobiles

4.1. Recherche bibliographique sur les agents infectieux présents dans le cadre de l'usage des TSM

Beaucoup d'agents microbiologiques sont potentiellement présents dans les déchets. Une liste des micro-organismes que l'on peut retrouver dans les boues contenant des fèces en dénombre plus d'une cinquantaine²⁴. La question posée est : lesquels sont les plus pertinents à retenir?

En s'inspirant de la thèse de Brouillard et de Pompee [33] [34] et de la liste ci-dessus (visées par la réglementation française), nous allons appliquer la méthode suivante :

- Identifier les agents apparaissant dans les textes réglementaire français ;
- Les classer selon les pathogènes visés par le Centre National de Référence (CNR) ;
- Les classer selon leur mode de transmission

4.1.1. Les pathogènes à caractère réglementaire

Nous avons vu qu'aucune loi en France n'existe sur les matières issues de Toilettes Sèches Mobiles. Nous allons donc nous intéresser à la réglementation des matières analogues, à savoir :

- NF U44-051 – sur les amendements organiques ;
- NF U44-095 sur les amendements organiques contenant des MIATE ;
- Arrêté du 08/01/98 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles pris en application du décret n° 97-1133 du 08/12/97 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées ;
- Arrêté du 21/12/98 relatif à l'homologation des matières fertilisantes et des supports de culture.

Les agents pathogènes (pathogènes et indicateurs) qui y figurent sont répertoriés ci-dessous :

Tableau 3: Agents pathogènes

NF U44-051	NF U44-095	Arrêté 08/01/98	Arrêté 21/12/98
------------	------------	-----------------	-----------------

²³ <http://www.inrs.fr/metiers/environnement/assainissement-eau.html>

²⁴ http://ec.europa.eu/environment/archives/waste/sludge/pdf/sludge_eval.pdf

<i>Escherichia coli</i>	<i>Escherichia coli</i>	<i>Salmonella spp</i>	<i>Escherichia coli</i>
Entérocoques	Entérocoques	Entérovirus	Entérocoques
Œufs d'helminthes viables	Œufs d'helminthes viables	Œufs d'helminthes viables	Levures et moisissures avec <i>Aspergillus</i>
<i>Salmonella spp</i>	<i>Salmonella spp</i>		<i>Salmonella spp</i>
<i>C. perfringens</i>	<i>C. perfringens</i>		<i>C. perfringens</i>
<i>Listeria monocytogenes</i>	<i>Listeria monocytogenes</i>		<i>Staphylococcus aureus</i>
			Œufs et larves de nématodes
			Organismes aérobies à 30°C

Les agents infectieux mentionnés dans les textes de recommandation, auxquelles il faut porter une attention particulière sont :

Tableau 4: Agents infectieux mentionnés dans les textes de recommandation

OMS	ANSES ²⁵	INRS	CSHP ²⁶
<i>Escherichia coli</i>	<i>Escherichia coli</i>	Endotoxines	<i>Salmonella</i>
<i>Campylobacter spp</i>	<i>C. perfringens</i> (formes végétatives et spores)	Mycotoxines	Oeufs d'helminthes pathogènes viables ²⁷
<i>Salmonella spp</i>			Entérovirus
Ascaris			
<i>Giardia : Cryptosporidium</i>			
Rotavirus			

4.1.2. Centre National de Référence

Les arrêtés du 26 Avril 2002 et du 8 Octobre 2002 fixent la liste des Centres Nationaux de Référence (CNR) pour la lutte contre les maladies transmissibles et les laboratoires associés [73, 74]. Ces CNR peuvent être rattachés à l'Institut Pasteur, à des universités ou des laboratoires. Ces structures appuient les autorités sanitaires en matière de diagnostic, de surveillance épidémiologique et de recherche.

4.1.3. Mode de transmission

Ils existent trois types de transmission possible entre les agents pathogènes et l'opérateur : cutanée, ingestion et inhalation. Il faut aussi considérer la contamination secondaire : transmission d'un agent pathogène d'un individu en contact avec le milieu contaminé étudié à d'autres personnes, non exposées à ce milieu. Ainsi, une personne exposée à une source infectieuse peut, dans un deuxième temps, contaminer son entourage. Ces contaminations secondaires peuvent avoir lieu lorsque les micro-organismes sont, selon les voies d'exposition en jeu, excrétés dans les selles, la salive ou les sécrétions nasales. Ces transmissions secondaires constituent bien une spécificité du risque microbiologique, puisqu'elles n'existent pas pour des agents chimiques.

4.2. Proposition d'agents infectieux pertinents à suivre

²⁵ relatif à une demande d'appui scientifique et technique concernant un projet de norme NF U44-003 visant les boues d'épuration urbaines traitées à la chaux

²⁶ Section des eaux du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (ANSES) vis-à-vis des risques liés à l'épandage des boues résiduaires des stations d'épuration urbaines ou mixtes

²⁷ Considérés ici pour leur valeur d'indicateurs d'efficacité de traitement et non de risque

Tableau 5: Liste des agents pathogènes qui semble pertinents à suivre

		Indicateurs de traitement / d'hygiénisation	Suivi par un CNR	Transmission oro-fécale
Bactéries	<i>E. coli</i>	X	X	+++
	Entérocoques	X		+
	<i>Salmonella spp</i>		X	+++
	<i>C. perfringens</i>	X		-
	<i>Listeria monocytogenes</i>	X	X	-
	<i>Campylobacter spp</i>	X		-
Virus	Entérovirus			+++
	Rotavirus			+++
Helminthes	<i>Ascaris</i>			+++
	Œufs d'Helminthes viables	X		+++
autres	Levures et moisissures + <i>Aspergillus</i>	X		-
	Œufs et larves de nématodes			-
	<i>Gardia : Cryptosporidium</i>	X		-
	Endotoxines			-
	Mycotoxines			Ingestion

Le tableau ci-dessus liste les différents pathogènes susceptibles d'être analysés. On y retrouve à la fois des pathogènes initialement présents dans les matières fraîches et d'autres qui peuvent apparaître au cours du compostage (tels que les levures et les moisissures). Sont également recensés des indicateurs de traitement (tel que *E. coli* ou Entérocoques).

Selon l'OMS, les *Salmonella* et *E. coli* constituent une préoccupation générale sous l'angle des risques microbiens liés à l'utilisation de divers produits fertilisants (fèces, boues d'épuration, fumier animal, notamment). Ces bactéries sont également importantes en tant qu'agents de zoonoses (transmission entre humains et animaux, avec contamination par les fèces/ le fumier).

Après échanges dans le cadre du comité de pilotage n°2 de l'étude (voir Compte Rendu COPIL n°2), les arbitrages ci-dessous ont été réalisés.

Afin de juger du bon déroulement du processus de compostage, seront suivis les indicateurs de bon traitement : *E. coli*, Entérocoques (plus résistant que les *E. coli*), *C. perfringens*. (très bon indicateur d'hygiénisation du compost). Seront suivis les *Salmonella spp* qui sont des bactéries aéro-anaérobies et dont la transmission oro-fécale est non négligeable. Connaître au début du compostage le taux de présence d'*E.Coli*, Entérocoques et *C. perfringens* et les mesurer en fin de compostage permet de voir l'action de ce dernier et de le qualifier. Toutefois, ces mesures permettront de dire si le compostage est hygiénisant et s'il protège les consommateurs. Car on estime alors que les micro-organismes pathogènes ont subi la même hygiénisation. Cependant, il faut avoir conscience que ces indicateurs ne permettent pas d'évaluer le risque pour les personnes qui manipulent les résidus de TS puisqu'ils ne sont pas pathogènes.

Dans la catégorie des virus à suivre, nous avons sélectionnés l'Hépatite A. S'il n'existe pas de référentiel sur ce virus, il est intéressant de le suivre car il est d'une part très résistant dans différents milieux et il permet également d'avoir des informations sur la population qui utilise les dispositifs de TSM.

Il est nécessaire de mesurer des pathogènes avant et au début du compostage pour estimer les dangers des expositions des opérateurs. Sont retenus les *Salmonella* et le virus hépatite A dans les premières étapes de la filière (manipulation des résidus sur les sites et en entrée de compostage). Dans la mesure du possible, il est préconisé de réaliser une recherche à la fin du compostage.

Il nous est apparu pertinent de suivre les possibilités de contamination des sciures utilisées dans les toilettes sur les usagers et sur les agents des prestataires. Ainsi, nous recommandons d'analyser sur les sciures employés, le champignon *Aspergillus* au moins une fois par prestataire suivi (et donc pas litière employée).

Pour conclure, voici la liste définitive des indicateurs à suivre :

Tableau 6: Liste définitive des agents pathogènes à suivre

Bactéries	<i>E. Coli</i>
	Entérocoques
	<i>Salmonella</i>
	<i>C. perfringens</i>
Virus	Hépatite A
Champignon	<i>Aspergillus</i>
Helminthes	Œufs d'Helminthes viables

4.2.1. Autres paramètres à suivre : physico-chimiques, agronomiques et pharmaceutiques

Les différents paramètres physico-chimiques et agronomiques qui sont pertinent à suivre sont ceux que l'on retrouve dans les normes NFU 44095 et NFU 44051. Ils sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 7: Liste des paramètres physico-chimiques et agronomiques à suivre

Paramètres physico-chimiques	pH
	Matière Organique
	Pour les phases liquides :
	DBO
	DCO
	NO ₃ ⁻ NO ₂ ⁻ NH ₄ ⁺ /NTK PO ₄ ³⁻
Paramètres agronomiques	Le rapport C/N
	N _{total} , N _{organique}
	% MB de Phosphore (en P ₂ O ₅)
	% de MB de Potassium (en K ₂ O)
	% MB de Magnésium (en MgO)

Quant aux paramètres pharmaceutiques suivis lors de l'étude, ils seront déterminés par l'INSA et l'ADEME. Un paramètre important à suivre pour les agriculteurs qui font de l'épandage est la courbe de minéralisation afin de savoir quand la culture va recevoir l'azote.

4.2.2. Analyse des risques au regard des différentes expositions recensées

Nous vous présentons un tableau récapitulatif associant les différents maillons des filières suivies et les étapes de prélèvement d'échantillons pour les analyses microbiologiques

Tableau 8: Tableau récapitulatif des différents maillons des filières suivies

Filière / Maillon	Collecte	Pré-vidange	Transport	Traitement	Valorisation
Urines pures	Bidon de 1000L	Non	Oui	Par stockage	Epandage



				« compostage sur Plate-forme autonome »	
Urines + litière	Bidon de 1000L	Oui	Oui	« compostage sur Plate-forme autonome »	Epandage
					Epandage
Excrétas + litière	divers	Oui	oui	« compostage sur plate-forme autonome »	Epandage
				« compostage sur plate-forme collective »	
: prélèvement et analyse des paramètres microbiologiques à effectuer					

4.3. Proposition de collecte de données supplémentaires

Nous proposons pour clôturer cette évaluation des risques sanitaires que soit réalisée une collecte de données supplémentaires :

- Comme décrit dans le document de projet, réaliser un questionnaire sur la perception des risques sanitaires des usagers de TDM et pour une dizaine de professionnel de cette filière (de différents maillons) des interview sur la gestion des risques sanitaires.
- Une enquête visuelle du fonctionnement en réelle de la filière.

Une interview des organisateurs d'évènement pour la perception des risques sanitaires

PARTIE III : CARACTÉRISATION DES MATIÈRES ISSUES DES TOILETTES SÈCHES MOBILES ET DES RISQUES SANITAIRES DES FILIÈRES D'ASSAINISSEMENT

1. Rappel du contexte d'analyse

1.1. Généralités

L'état des lieux des pratiques de gestion des matières de TS mobiles a été réalisé dans le cadre de la présente étude de septembre 2014 à juin 2015 (lot 1). Cette première phase de l'étude a été menée par TDM en collaboration avec le RAE grâce à une étude bibliographique du contexte réglementaire en France et à des enquêtes auprès des prestataires de toilettes sèches mobiles et des commanditaires (organisateur d'événements).

Les travaux menés dans le cadre du lot 1 montrent que :

Concernant les prestataires : les profils et pratiques sont diverses (associations, entreprises, gestion des matières en interne, collaboration avec des plates-formes agréées, etc.). Le profil majoritaire est une entreprise (SA, SCOP ou autoentrepreneur), en activité depuis 5 à plus de 10 ans, travaillant à l'échelle régionale et en collaboration avec d'autres prestataires ainsi que des structures de compostage et de valorisation des déchets. L'équipement moyen d'un prestataire comprendrait : 16 TLB + 3 PMR et 18 urinoirs pour hommes. Pour plus de la moitié des structures la présence sur site concerne le plus souvent moins de 2 personnes. 10 prestataires ayant répondu ont fréquemment de 2 à 5 personnes sur le site des événements. Ces données corroborent le fait du grand nombre d'événements de petite taille et montrent qu'ils nécessitent moins de présence humaine pour la gestion et l'animation des TSM dans ces cas-là. Le personnel assure notamment les vidanges en prenant diverses mesures d'hygiène (principalement port d'EPI). Les volumes de résidus transportés sont variables en fonction de la taille de l'événement et des pratiques diverses. Le traitement des matières est assuré par une plate-forme de compostage personnelle (63 %) ou une plate-forme de compostage collective (agriculteurs composteurs ou collectivités territoriales) (35 %).

Concernant les commanditaires : les profils sont variés, principalement des associations (réseau ou collectifs) et des collectivités qui organisent majoritairement des festivals d'une durée de 1 à 5 jours. Ils ont une perception positive des TSM sur leur impact environnemental, leur état de propreté et la santé des usagers. Selon eux, les TSM ne représentent pas de risque sanitaire ni environnemental si elles sont bien gérées. Cependant, les commanditaires paraissent avoir une méconnaissance du dimensionnement du nombre de cabine à mettre en place en fonction de la taille d'un événement. De même, le recours majoritaire à un prestataire pour les TSM engendre une méconnaissance de la filière de gestion des matières (transport, traitement et valorisation). Les critères de choix des commanditaires vis-à-vis d'un prestataire reposent sur leur capacité d'animation et d'entretien, la gestion des matières puis le coût.

Au-delà de l'arrêté sur l'assainissement non collectif, le cadre réglementaire français des matières pouvant se rapporter aux produits de toilettes sèches mobiles, est le suivant :

- NF U44 051 sur les amendements organiques (NFU 44_051) ;
- NF U44 095 sur les amendements organiques contenant des *MIATE* ;
- Arrêté du 08/01/98 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles pris en application du décret n° 97-1133 du 08/12/97 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées (Arrêté du 08/01/98) ;
- Arrêté du 21/12/98 relatif à l'homologation des matières fertilisantes et des supports de culture (Arrêté du 21 décembre 1998) ;
- Article L.1311-2 du code de la santé publique (Article L1311-2). (le titre VIII fixe les prescriptions applicables aux activités d'élevage).

Ces réglementations servent de base de comparaison aux analyses menées dans le cadre de l'étude. Un travail sur des réglementations étrangères a aussi été réalisé (voir chapitre V).



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

- F1 : Urine pures
- F2 : Urine + litière²⁸
- F3 : Excrétas + litière traités sur plate-forme de compostage individuelle (du prestataire) non étanche
- F4 : Excrétas + litière traités sur plate-forme de compostage collective (privée ou publique) étanche

Dans la continuité de l'état des lieux, une analyse d'évaluation des risques sanitaires sur les quatre filières identifiées ci-dessus a été réalisée. Il a été retenu dans le cadre du comité de pilotage de l'étude, réalisé en juin 2015, que les seuls agents infectieux (pathogènes et indicateurs) qui doivent être suivis sont ceux répertoriés dans le Tableau 9 selon les catégories génériques de l'INERIS (2001) (Bonnard, 2001).

Tableau 9: Liste définitive des agents pathogènes à suivre

Bactéries	<i>E. coli</i> β glucuronidase positive
	Entérocoques intestinaux
	<i>Salmonelles</i>
	<i>C. perfringens</i>
Virus	Hépatite A (HAV)
Moisissures	<i>Aspergillus fumigatus</i>
Helminthes	Œufs d'Helminthes viables

Il faut noter que les helminthes sont généralement regroupés sous l'appellation de « parasites ». La connaissance de l'espèce bactérienne n'est souvent pas suffisante pour en évaluer leur pouvoir pathogène. C'est notamment le cas d'*Escherichia coli* (*E. coli*) ou de *Salmonella* :

- *Escherichia coli* (*E. coli*) est l'une des bactéries les plus fréquentes de la flore intestinale humaine et n'est généralement pas pathogène. Par contre, plusieurs types d'*E. coli* sont connus pour leur pathogénicité chez l'homme (*E. coli* STEC comme O157:H7) ;
- Certaines sous-espèces de *Salmonella* sont pathogènes pour l'homme ou les animaux (*S. typhi* est par exemple responsable de la fièvre typhoïde). Parmi les pathogènes de l'homme, c'est la sous-espèce *Salmonella enterica* qui ne compte pas moins de 2300 sérotypes.

La Directive européenne 2000/54/CE (Directive européenne 2000/54/CE du Parlement Européen et du Conseil du 18 Septembre 2000, 2000) établit un classement en quatre groupes de risque selon l'importance du risque d'infection qu'ils présentent. Les indicateurs suivis dans le cadre de l'étude sont issus de l'un des deux premiers groupes :

- un agent du groupe 1 n'est pas susceptible de provoquer une maladie chez l'homme
- un agent biologique du groupe 2 peut provoquer une maladie chez l'homme et constituer un danger pour les travailleurs; sa propagation dans la collectivité est improbable; il existe généralement une prophylaxie ou un traitement efficace.

Les 2 autres groupes ne correspondent pas aux matières suivies, à savoir :

- le groupe 3 comprend les agents biologiques pouvant provoquer une maladie grave chez l'homme et constituer un danger sérieux pour les travailleurs ; leur propagation dans la collectivité est possible mais il existe généralement une prophylaxie ou un traitement efficaces (ce qui est le cas pour le traitement des diarrhées issues d'une infection par *E. coli* par exemple) ;
- le groupe 4 comprend les agents biologiques qui provoquent des maladies graves chez l'homme et constituent un danger sérieux pour les travailleurs ; le risque de propagation dans la collectivité est élevé ; il n'existe généralement ni prophylaxie ni traitement efficaces.

Les différents paramètres physico-chimiques et agronomiques qui sont pertinent à suivre sont ceux que l'on retrouve dans les normes NFU 44-095 et NFU 44-051, à savoir ceux du Tableau 10.

²⁸ Il s'agit dans le cadre de l'étude de paille broyée, de copeau / sciure de menuiserie et de copeau industriel dépoussiéré.

Tableau 10: Liste des paramètres physico-chimiques et agronomiques à suivre

Paramètres physico-chimiques	pH
	Matière Organique
	Pour les phases liquides : DBO, DCO, NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ /NTK, $(\text{PO}_4)^{3-}$
Paramètres agronomiques	C/N
	N_{total} , $\text{N}_{\text{organique}}$
	% MB de Phosphore (en P_2O_5)
	% de MB de Potassium (en K_2O)
	% MB de Magnésium (en MgO)

L'évaluation des risques au regard des différentes expositions recensées montre qu'il est pertinent de s'intéresser pour chacune des filières identifiées, aux maillons de l'assainissement du Tableau 11 suivants :

Tableau 11: Maillons ayant fait l'objet d'analyses en fonction des filières

Filière / Maillon	Collecte	Transport	Traitement	Valorisation
F1 = Urines pures	Bidon de 1000L	Par véhicule léger ou poids lourds	Par stockage	Epandage
			« compostage sur plateforme individuelle »	
F2 = Urines + litière	Bidon de 1000L / 200 L	Par véhicule léger ou poids lourds	« compostage sur Plateforme individuelle »	Epandage
				Epandage
F3 ou F4 = Excrétas + litière	divers	Par véhicule léger ou poids lourds	« compostage sur Plateforme individuelle »	Epandage
			« compostage sur plateforme collective »	

Ainsi, suite au rapport consolidé du lot 2 « Analyser les risques sanitaires des filières prépondérantes de gestion des matières de toilettes sèches mobiles » de l'étude portant sur l'« Etat des lieux des pratiques d'assainissement des matières de Toilettes Sèches Mobiles », les travaux de caractérisation des matières de toilettes sèches mobiles ont été validé par le comité de pilotage de l'étude qui a eu lieu en juin 2015.

1.2. Les événements, prestataires et filières de suivies

1.2.1. Répartition événement – prestataires

Les événements suivis dans le cadre de l'étude se sont déroulés de juillet à septembre 2015 (E1 à E7). Ils ont été couverts par 4 prestataires. A la demande des prestataires et des organisateurs d'événements, leurs noms n'apparaissent pas dans la version publique du rapport. Ils sont catégorisés en 3 formules (voir Tableau 12) :

- SOFT : événement familiale plutôt de journée (vide grenier, foire, sport) ;
- MEDIUM : événement de concert de soirée de taille petite à moyenne ;
- HARD : gros événement musical avec fort débit de boisson et avec usage potentiel de stupéfiants.

Tableau 12: Catégorisation des festivals

Evènement	Catégorie
E1	Médium
E2	Hard
E3	Soft
E4	Hard
E5	Soft

E6	Médium
E7	Soft

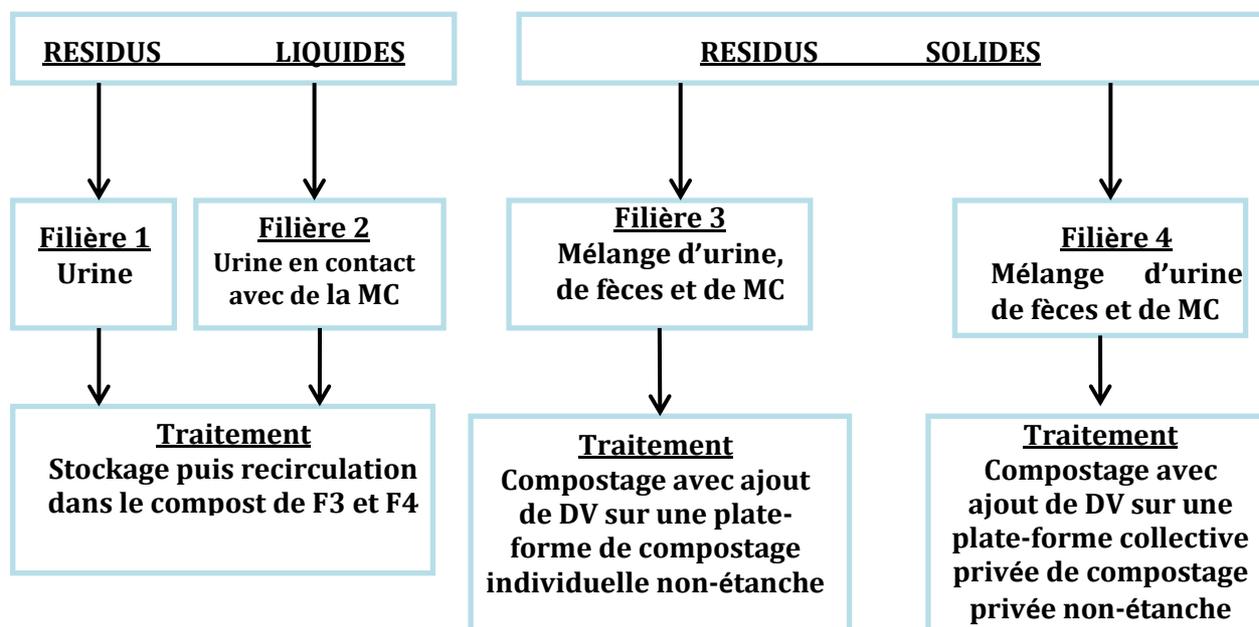
1.2.2. Définition des filières

De manière plus précise, les filières qui ont été suivies sont décrites ci-dessous dans le Tableau 13 et Tableau 14.

Tableau 13: Identification des filières suivies

	Type de matière	Contenant	Transport	Traitement	Valorisation
Filière 1	Urine pure	Cuve IBC 1000L	VU, PL	Stockage	Epandage sur culture non alimentaire ou sur compost
Filière 2	Urine + litière	Bidons 200 L	Rejoint la filière 3		
Filière 3	Excrétas + litière + déchets verts	Poubelle plastique 80 L avec couvercle ou cuve IBC	VU, PL	Compostage sur plate-forme individuelle non étanche	Epandage sur culture non alimentaire
Filière 4	Excrétas + litière + déchets verts	Poubelle plastique 80 L avec couvercle ou cuve IBC	VU, PL	Compostage sur plate-forme collective étanche	Epandage sur cultures alimentaires et non alimentaires

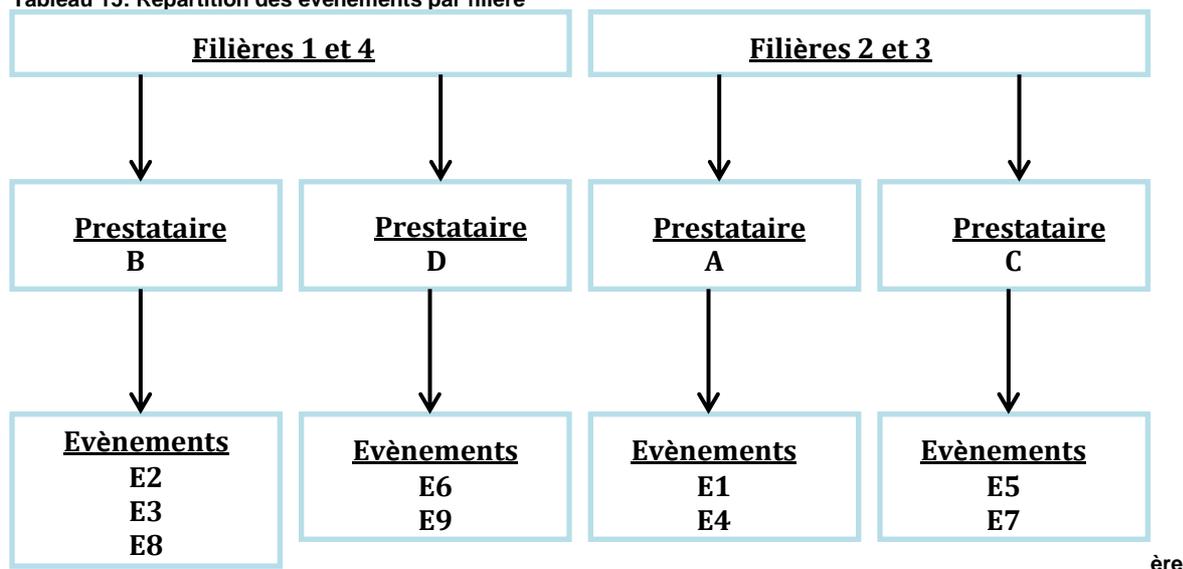
Tableau 14: Répartition des filières par matrice solide / liquide



1.2.3. Répartition par filière et type d'évènement

Cette répartition est visible dans le Tableau 15 ci-dessous :

Tableau 15: Répartition des événements par filière



1.3. Synthèse bibliographique sur les réglementations couvrant la gestion des excréta dans le monde

▪ Cadre général

Si l'on consulte la littérature réglementaire française actuelle sur la gestion de matières issues de Toilettes Sèches (TS), on trouve peu de références pour encadrer les pratiques : collecte, stockage, et surtout le transport des matières. Seule, la réglementation de l'ANC (arrêtés de 2009 – cf. Rapport lot 2) est suffisamment fournie à cet effet. Un recensement des textes étrangers est réalisé sur le cadrage de la gestion des excréta sans utilisation de l'eau comme moyen de transport. Un focus particulier a été fait sur le Salvador, la Suède et le Canada, car leur(s) technique(s) et réglementations sont les plus complètes et avancées.

Les objectifs de cette synthèse bibliographique sont les suivants :

- Identifier un/des cadre(s) pouvant servir de référentiel(s) sur la gestion des matières de TSM et TS urbaines ;
- Identifier des expériences à succès dans la bibliographie internationale sur lesquelles s'appuyer pour proposer des recommandations (notamment sur le transport des matières fécales issues des TS);

L'ensemble de la synthèse bibliographique est disponible en **Annexe 2**.

▪ Principaux résultats

Le travail de collecte de références bibliographiques s'est avéré difficile mais ce sont quand même plus de 60 publications couvrant plus de 10 pays qui ont pu être analysées. À cela, sont ajoutés les retours d'expériences de projets menés par TDM dans 12 pays supplémentaires. Ainsi, la recherche bibliographique a couvert environ 10% des pays de la planète sans trouver de référence adéquate sur ce sujet. En particulier, un focus est réalisé dans la recherche sur les textes réglementaires (de l'échelle de la collectivité à l'échelle nationale).

Sur les différents maillons qui composent la gestion des matières de toilettes sèches (collecte, transport, traitement et valorisation), il est possible de dire que les réglementations à l'étranger sont peu dotées de textes d'encadrement des pratiques. Les quelques textes existants qui sont ceux du Salvador, de la Suède et du Canada (par ordre d'importance) s'approchent fortement du cadre de l'ANC français (via l'arrêté de septembre 2009). Aucune référence n'a été identifiée sur les maillons transport et traitement collectif de matières de toilettes sèches (dans aucun des 3 pays mentionnés). Par ailleurs, il faut souligner que dans les documents consultés, la problématique sanitaire n'est que peu mise en exergue. Ainsi, cette étude bibliographique confirme le caractère pionnier de la France sur la mise en place de TSM et de TS urbaines. Au-delà de cet aspect, il convient de souligner que l'absence de cadre réglementaire pour de telles pratiques n'exclue pas des initiatives de la société civile. Sur l'ensemble des pays consultés bien qu'il y ait une absence d'encadrement, la société civile multiplie des activités de mise en place de toilettes sèches et le plus souvent avec un bon sens sanitaire et environnemental avéré. Par exemple, en Suède le développement des toilettes sèches provient

d'initiative de particuliers ayant des résidences secondaires en milieu isolé. C'est sur ces initiatives que plusieurs modèles de toilettes sèches ont été créés puis améliorés au fur et à mesure de leur utilisation... Aujourd'hui, la Suède est le premier pays à avoir tenté le passage à grande échelle (en milieu urbain et sur des bâtiments collectifs) de l'équipement en toilettes sèches. L'Allemagne présente également une forte dynamique à propos des toilettes sèches mobiles en festival et les différents acteurs semblent très impliqués sur le sujet [35] notamment en ce qui concerne des filières de traitement collectives pour les matières.

1.4. Rapprochement avec la problématique des toilettes sèches urbaines : le projet OCAP

Le projet OCAP²⁹ vise à explorer les voies possibles d'évolution des systèmes d'assainissement qui permettraient de faire face aux enjeux du XXIème siècle : maximiser la valorisation des ressources carbonées, azotées et phosphorées aujourd'hui présentes dans les eaux usées tout en limitant la consommation d'énergie et des ressources. L'objectif est aussi de limiter l'impact environnemental du système d'assainissement en considérant les rejets de gaz à effet de serre, la récupération de chaleur des eaux usées et d'améliorer les rendements sur les paramètres « azote » et « phosphore ».

Pour ce faire, le projet étudie les changements possibles à tous les maillons de la chaîne de l'assainissement dont la voie de la séparation à la source des différents composants des eaux usées, principalement urines et fèces, et de leur niveau de gestion plus ou moins décentralisée. Le projet s'attache à analyser les leviers et les verrous de mutations des modalités de gestion des matières organiques en ville.

Les 4 filières suivies dans l'étude sur les TSM sont des voies et des passerelles évidentes pour la gestion différenciée des excréments en milieu urbain.

Ainsi, des rapprochements ont été fait entre le LEESU et TDM afin d'apporter une réflexion commune pour trouver des solutions en caractérisant les régimes de fonctionnement possibles des cycles carbone, azote et phosphore et permettre d'exhiber des régimes optimaux au regard des contraintes liées aux ressources, à l'énergie et au climat.

2. Enquête de perception de l'exposition aux risques par les usagers et professionnels

2.1. Objet de l'enquête

Cette enquête a pour but d'aborder la perception des usagers et des professionnels sur les toilettes sèches et les problèmes d'hygiène et de risques associés. L'enquête a pris deux formes concrètes, (i) des questionnaires passés auprès des usagers et (ii) des entretiens réalisés auprès des organisateurs d'événements. Les thèmes suivants sont abordés : l'historique de l'événement, l'apparition des toilettes sèches, leurs avantages et inconvénients et enfin la perception des risques sanitaires.

Le rapport complet de l'enquête est présent en **Annexe 3**.

2.2. Méthodologie

Une grille de questionnaire a été élaborée entre le RAE et TDM. Ce sont 27 questionnaires qui ont été testés avec d'être réajustés. Puis, les questionnaires ont été réalisés selon 2 modes :

- Sous forme de passation en face à face auprès de 90 personnes sur des événements.
- Sous forme de réponse en ligne via un formulaire pour 65 personnes.

Le nombre total de questionnaires renseignés est de **182**, sur une population mère moyenne de 55 100 festivaliers par jour³⁰. Nous nous basons ici sur un niveau de confiance à 95% et une marge d'erreur à 7,2%.

La marge d'erreur est relativement élevée et le taux de réponse est bas. Pour qu'une telle enquête puisse être mieux représentative avec une marge d'erreur plus faible (à 5%), un taux de retour de plus de 384

²⁹ <https://leesu.univ-paris-est.fr/OCAP-presentation.html>

³⁰ Nombre de festivaliers moyen par jour sur l'ensemble des 10 événements couverts

questionnaires aurait été idéal. La méthode pour avoir un taux de retour élevé est de passer les questionnaires lors des événements. Ce travail fastidieux a été réalisé par une équipe bénévole du RAE car non prévu dans le cadre de l'étude pour 90 enquêtes. Ainsi, le nombre de personnes touchées peut apparaître comme faible au regard des personnes fréquentant des TSM.

En complément à l'enquête quantitative a été réalisée par questionnaire qualitative dans le cadre de 5 entretiens semi-directifs avec des organisateurs d'événement.

La méthodologie détaillée est disponible en **Annexe 3**.

2.3. Principales conclusions de l'enquête

Du point de vue des organisateurs d'événements enquêtés, la toilette sèche est avant tout un système pratique, adaptable et adapté à leurs événements. Elles se différencient des autres toilettes mobiles (notamment les « chimiques ») par le fait qu'elles sont perçues comme plus écologiques et surtout plus propres ! Et c'est avant tout à travers ce critère de propreté des cabines durant l'événement que les organisateurs se positionnent par rapport à la question sanitaire. Ainsi pour eux, les TSM sont préférables en termes d'hygiène car elles sont nettoyées régulièrement. Le prestataire et la qualité du service fournie a donc une place centrale. La perception des risques sanitaires par les organisateurs est directement liée à la qualité de son travail. Parmi les enquêtés, tous sont satisfaits des prestations fournies. Les enquêtés ne se préoccupent généralement pas des autres maillons de la chaîne (transport, vidange, traitement, valorisation...) car ils font entièrement confiance en leur prestataire.

Enfin, qu'ils connaissent ou non le devenir des résidus, ces derniers sont perçus de manière positive. Pour les enquêtés ce sont des « engrais naturels » ou des « fumiers humains » qui ne soulèvent pas plus de question sanitaire que les fumiers animaux.

D'un bout à l'autre de la chaîne le risque sanitaire n'est donc pas une préoccupation pour les organisateurs d'événements dans la mesure où la propreté est assurée sur leur événement. En premier lieu car ils ne perçoivent pas de risque potentiel autre que celui lié à la saleté des cabines et qu'ils sont pleinement satisfaits de la gestion sur leurs événements. Et dans un second temps du fait qu'ils font pleinement confiance en leur prestataire sur le traitement des résidus en aval de leur manifestation.

De son côté, le grand public n'est pas inconscient, il sait qu'il y a un risque de contamination en utilisant des toilettes et *a fortiori* quand elles sont publiques. Mais il n'identifie pas de risque spécifiquement lié aux toilettes sèches. Il n'y a donc pas lieu d'alerter mais plutôt de réaliser des actions ou outils d'information / sensibilisation sur les filières d'assainissement (compostage, plates-formes agréées, épandage, etc.) en soulignant les rôles et enjeux de celles-ci.

Pour la bonne maîtrise des risques sanitaires, il convient de produire des recommandations d'encadrement des pratiques tant au niveau des organisateurs / commanditaires que des prestataires. Ces mesures de « bon sens » sont généralement respectées mais doivent être généralisées à tous les événements comme : la pose d'un dispositif de lave-main de manière visible, et s'il se fait par l'eau favoriser l'accès à l'eau sur les sites de TSM et à un dispositif d'assainissement associé, clôture fermée de la zone de maintenance des toilettes, etc. Cette liste doit pouvoir être amendée grâce aux résultats de l'analyse microbiologique de l'étude (voir chapitres suivants).

Force est de constater que le TSM ne sont plus aujourd'hui un secteur marginal et isolé. C'est un public varié (en âge et socio-culturel) qui utilise des TS sur des événements. Le secteur de la prestation se professionnalise en conséquence. Certains prestataires de toilettes chimiques proposent depuis peu également une gamme de TS. Des organisateurs d'événements s'équipent aussi individuellement sans prestataire ni charte. Ces tendances, tant de la part du public que des organisateurs, montrent que la perception des risques sanitaires n'inquiète pas dans la mesure où ces derniers sont pris en charge par le prestataire et que les moyens pour les maîtriser sont déployés.

PERCEPTION DES RISQUES SANITAIRES

Au niveau des organisateurs d'événements :

- Le critère de propreté et d'entretien régulier des cabines est primordial dans le recours à une prestation de TSM.

- Peu ou pas de préoccupation quant au devenir des matières et aux risques associés (sanitaire ou environnemental).
- La confiance dans le prestataire est aussi fondamentale.

Au niveau des usagers :

- Conscience d'un risque de contamination potentiel dans l'usage de toilettes publiques en général sans un focus en particulier sur les toilettes sèches.
- Présence de moyens pour maîtriser les risques à généraliser sur les événements comme : la pose d'un dispositif de lave-main de manière visible, favoriser l'accès à l'eau sur les sites de TSM et à un dispositif d'assainissement associé et la pose d'une clôture fermée pour la zone de maintenance des toilettes.



Figure 83: Enquête de perception des risques sanitaires sur E1

3. Analyse des flux

3.1. Dimensionnement du maillon « collecte »

3.1.1. Sur les 6 événements 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 (familial, personnes âgées, jeunes, etc.) ; type de consommation (repas ou non,...), durée des événements ; présence d'autres toilettes sur le site ou d'autres possibilités de se soulager...
- La diversité des modes opératoires des prestataires : ceux ayant recours à des bénévoles (de l'organisation de l'événement ou de l'association prestataire) peuvent se permettre de mobiliser plus de personnes à l'entretien et à la sensibilisation que ceux ayant recours au salariat.

Tableau 16: Les caractéristiques du maillon « collecte » des événements

Code	Jauge soirée	Nombre urinoir	Nombre cabine	Nombre soirée	Nombre 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
-----------	-------	----	------------------	---	----	--------

Sur le postulat de cette diversité (cf Tableau 16), le RAE fort d'une vingtaine de structures pratiquant des prestations de toilettes sèches mobiles en événementiel a élargi l'analyse à 32 événements. Les pratiques réelles des prestataires au sein du RAE ont été recueillies.

Sur un plus grand nombre d'événements (cf Tableau 17), on peut identifier des récurrences dans les pratiques. 32 événements réalisés durant la saison 2015 par 11 prestataires différents ont ainsi été répertoriés. Pour chaque événement ont été recueillis les éléments suivants :

- le type d'événement (festival, foire, mariage,...) caractérisé en « soft », « medium » et « hard » du point de vu des pratiques du public en termes de consommation d'alcool ;
- la jauge du public journalière, le nombre de jour et la jauge totale ;
- les caractéristiques du site (ouvert ou fermé, urbain ou rural, présence ou absence de camping, présence ou absence d'autres toilettes) ;
- le nombre d'urinoirs, de cabines classiques et de cabines PMR installées ;
- Le nombre de personnel d'entretien présent ;
- les volumes de sciure, d'urine pure, et de matières solides produites ;
- la distance parcourue entre le site de l'événement et celui du traitement.

L'ensemble de ces événements ont été regroupés en fonction des jauges journalières de public accueillis. 3 tranches ont ainsi été constituées :

- i) les petits événements de 1 à 999 personnes/jours,
- ii) les moyens de 1000 à 3000 pers/jour,
- iii) les grands de plus de 3000 pers/jour.

Ces tranches ont l'intérêt d'être relativement cohérentes en termes de nombres de cabines installées par les différents prestataires et permettent ainsi de dégager des moyennes de dimensionnement. Pour ce faire, les pratiques les plus marginales ont été extraites afin de conserver des moyennes cohérentes.

Par exemple dans la catégorie des plus gros événements, la majorité des prestataires installent entre 15 et 40 cabines pour des jauges journalières entre 5 et 15 000 personnes. Dans cette même tranche, deux prestataires s'écartent fortement de ces pratiques : l'un en installant 130 cabines pour 20 000 personnes (cela s'explique par le fait que le site est totalement ouvert et a donc une jauge au final très difficile à anticiper) ; et l'autre installant 8 cabines pour 20 000 personnes (cela s'explique ici par la présence d'autres toilettes sur le site).

Il est aussi important de souligner que, pour des équipements en sous-effectif, il y a un impact fort sur la capacité à entretenir les cabines (passages plus réguliers mais avec des personnes qui attendent en permanence l'accès aux toilettes) et donc sur les conditions d'hygiène (cabines plus difficile à nettoyer fréquemment et plus de pipi « sauvage » sur le site).

Tableau 17: Caractérisation des événements

	Profil	Type	Nombre Moy Urinoir	Nombre Moy Cabine	Nombre Moy PMR	Ecart type sur nombre cabine
Petit (1 à 999 pers/jour)	Soft (86%)	Foire (43%), Mariage (29%), Sport (29%)	0,3	2	0,1	1
Moyen (1000 à 3000 pers/jour)	Soft (36%) et Medium (56%)	Festival "classique" (57%), Foire (14%), Sport (14%)	4	6	0,6	4
Grand (3001 et plus pers/jour)	Medium (43%) et Hard (57%)	Festival "classique" (86%), et "hard" (14%)	22	24	1,3	9

3.1.2. Recommandations sur le dimensionnement des dispositifs de collecte

Au regard de la diversité décrite ci-dessus, il apparaît difficile de produire des recommandations sur les nombres d'urinoirs et de cabines tant les profils des événements peuvent impacter l'utilisation des infrastructures.

Tableau 18: Recommandation de dimensionnement en infrastructure

	Nombre minimum d'urinoir	Nombre minimum de Cabine	Nombre minimum de PMR
Petit (1 à 999 pers/jour)	1	2	1
Moyen (1000 à 3000 pers/jour)	4	5	1
Grand (3001 et plus pers/jour)	Au moins 5 plus 2 urinoirs / cabines pt1000*		Au moins 2 plus 1 cab. pt1000
<i>pt1000* = par tranche de 1000 personnes supplémentaire.</i>			

Il est important d'avoir un surdimensionnement des préconisations du Tableau 18 ci-dessus au regard des événements répondant à l'un des critères suivants :

- forte consommation de boissons ;
- site avec accueil ouvert ;
- camping de festival ;
- animations délivrant les usagers en « flot » (parcours sportifs avec départ/arrivée, implantation entre 2 concerts, matinée du camping, etc.).

L'objectif de telles recommandations est, pour les organisateurs d'événements, d'anticiper la taille du parc de toilettes dont ils peuvent avoir besoin en fonction de leur événement.

DIMENSIONNEMENT D'UN PARC DE TSM

Il est difficile de produire des recommandations en la matière tant les pratiques et les contextes événementiels varient. Une recommandation de dimensionnement minimum a été établie par tranche de 1000 personnes. Les chiffres annoncés doivent être relativisés au regard des critères suivants :

- la consommation de boisson de l'événement ;
 - si le site est ouvert au public ou fermé (place payante) ;
 - la présence d'autres toilettes sur le site ou à proximité ;
 - la nature de l'événement qui peut délivrer des « flots » ponctuels d'usagers (parcours sportifs avec départ/arrivée, implantation entre 2 concerts, matinée du camping, etc.).
-

3.2. Flux entrants et sortants des maillons « collecte », « transport » et « traitement »

3.2.1 Sur les 6 événements de l'étude

Une analyse matière a été réalisée sur les 6 événements (cf Tableau 19) en considérant :

- les flux entrant : matière carbonée, jauge soirée,
- les flux sortants : urines et matières produites (mélange matière carbonée et excréta).

Tableau 19: Flux de matière sur maillon de collecte à la journée pour les événements de l'étude

Code	Jauge soirée /	Matière carbonée	Collecte

	journée	Type	Volume utilisé / jour	Volume de sous-produit / jour
E1	6000	Sciure tout venant 95% copeaux et paille broyée 5%	1 m ³ de paille (pour urinoirs et litière dans cuves) 1 m ³ de copeaux (pour les cabines)	F2= 1,2 m ³ F3= 1,6 m ³
E2	9000	Copeau industriel dépeussieré	2 m ³	F1= 2,2 m ³ F4= 3,2 m ³
E3	3000	Copeau industriel dépeussieré	0,5 m ³	F1= 0,4 m ³ F4= 0,8 m ³
E4	600	95% copeaux, 5% paille broyée	0,5 m ³	F2= 0,8 m ³ F3= 1,6 m ³
E5	1500	Mélange sciure copeaux	0.35 m ³	F2= 0,2 m ³ F3= 0,3 m ³
E6	10000	Mélange sciure copeaux	3 m ³	F1= 1 m ³ F4= 3,1 m ³

Le tableau ci-dessus des flux de matières montre encore une fois la disparité des pratiques.

La consommation de la matière carbonée varie en fonction des pratiques (cf Figures 84 et 85). Certains prestataires pratiquant le libre-service dans la cabine (L1, L3 et L4) et d'autre la distribution de la main à la main en gobelet (L2 sur E2 et E3). Il est important de souligner que les prestataires du RAE testent différentes pratiques comme des chasses à sciure ou la gestion de la matière carbonée uniquement par le personnel directement dans les cuves de collecte.



Figure 84: Utilisation de la matière carbonée



Figure 85: Utilisation de la matière carbonée E1/F3 en gobelet

3.2.2 Extrapolation à 32 évènements

Dans la même dynamique que pour le dimensionnement des infrastructures de collecte (cf. paragraphe 1) une extrapolation a été réalisée par le RAE à 32 évènements. Il en ressort les résultats présentés dans le Tableau 12 :

Tableau 20: Extrapolation flux des matières sur maillon de collecte

Jauge soirée	Profil	Type	Vol moy litière (m ³)	Vol moy Urine (m ³)	Vol moy Total collecté (m ³)
Petit (1 à 999 pers/jour)	Soft (86%)	Foire (43%), Mariage (29%), Sport (29%)	0,3	0,2	0,4
Moyen (1000 à 3000 pers/jour)	Soft (36%) et Medium (56%)	Festival "classique" (57%), Foire (14%), Sport (14%)	2	0,34	3
Grand (3001 et plus pers/jour)	Medium (43%) et Hard (57%)	Festival "classique" (86%), et "hard" (14%)	11	3	15

Il est important de souligner la difficulté de produire des recommandations dans ce contexte en particulier au regard des extrapolations pour les grands événements tant la fourchette est large.

3.2.3 Recommandations de dimensionnement sur le maillon collecte

Sur le même principe que pour le dimensionnement des infrastructures des recommandations basées sur des quantités à minima sont proposées (cf. Tableau 21). L'objectif de telles recommandations est pour les prestataires d'anticiper la gestion des flux avant l'événement pour en faciliter la logistique.

Tableau 21: Recommandation de gestion des flux (matière carbonée et matières produites)

Jauge journée	Vol de litière à fournir (m ³)	Vol d'urine à collecter (m ³)	Vol de matière produite (m ³)
Petit (1 à 999 pers/jour)	0,5	0,5	1
Moyen (1000 à 3000 pers/jour)	2	1	3
Grand (3001 et plus pers/jour)	Au moins 2 m ³ plus 0.5 m ³ pt1000	Au moins 1.5 m ³ plus 0.25 m ³ pt1000	Au moins 4 m ³ plus 1 m ³ pt1000
<i>pt1000* = par tranche de 1000 personnes supplémentaire.</i>			

DIMENSIONNEMENT DE LA CONSOMMATION EN MATIÈRE CARBONÉE ET DE LA PRODUCTION DE MATIÈRES

Il est difficile de produire des recommandations tant les pratiques et les contextes événementiels varient. Une recommandation de dimensionnement minimum a été établie par tranche de 1000 personnes. Les chiffres annoncés doivent être relativisés au regard des critères suivants :

- Collecte d'urine pure ;
- Mode de distribution de la matière carbonée ;
- la consommation de boisson de l'événement ;
- si le site est ouvert au public ou fermé (place payante) ;
- la présence d'autres toilettes sur le site ou à proximité ;
- la nature de l'événement qui peut délivrer des « flots » ponctuels d'utilisateurs (parcours sportifs avec départ/arrivée, implantation entre 2 concerts, matinée du camping, etc.).

3.2.4 Maillon traitement

❖ Protocole de compostage

▪ Gestion des composts sur la filière F3 (plate-forme individuelle non étanche)

Les modalités de gestion des composts (périodicité des actions d'exploitation) sont décrites ci-dessous :

- La vidange de l'événement est faite par le prestataire en présence de TDM ou d'un représentant du RAE. Les vidanges sont faites sur une aire non étanche de la manière suivante :
 1. Préparer une zone vide dans l'espace de compostage ;
 2. Faire la vidange dans cet espace libre puis brasser légèrement les matières fraîches avec les déchets verts ;
 3. Couvrir les matières de déchets verts.
- Après la vidange, le matériel est nettoyé à l'eau claire à l'aide d'une brosse ;
- L'eau de nettoyage est ensuite reversée dans la zone de compostage ;
- Un bâton ou un autre repère visuel marqué (date, événement) est planté à l'endroit de la vidange pour permettre de répartir les matières sur toute la surface du composteur au fur et à mesure des éventuelles autres vidanges à venir ;
- Absence de brassage des matières la première année chez L1 (donc pour E1 et E4) ;
- Brassage et ajout de matières carbonées chez L3 (donc pour E5 et E7) au mois +4 ;
- Mesure des températures au moins une fois par semaine ;
- Stockage pendant 24 mois ;
- Criblage ;
- Epandage à la parcelle.

Les prélèvements sont faits dans le cadre de trois campagnes d'échantillonnage :

- Mise en compostage avec mélange avec des déchets verts (Pi)
- En cours de compostage (P4mois ou P6mois)
- En fin de compostage (P12mois)

Les prélèvements sont réalisés par du personnel salarié ou bénévole de TDM. Ces personnes ont reçu au préalable une formation sur les méthodes de prélèvement. Les prélèvements sont réalisés selon la méthode des quartas : la totalité des matières est répartie en 4 tas de mêmes volumes. Deux de ces tas sont rassemblés et homogénéisés pour former un nouveau tas, lequel est à nouveau réparti en 4 tas de mêmes volumes. Cette opération est répétée 4 fois avant d'obtenir le tas final dans lequel est prélevé l'échantillon à analyser. Cette méthode de prélèvement permet d'obtenir un échantillon homogène et représentatif des matières en compostage. Elle assure également un brassage complet du compost.

▪ Cahier des charges de gestion des composts sur la filière F4 (plate-forme collective privée - étanche)

Les deux plates-formes suivies dans le cadre de l'étude utilisent la même procédure. A savoir :

- Réception et stockage des déchets verts

Les déchets verts sont réceptionnés en vrac sur une aire spécialement réservée à cet effet.

- Contrôle

Un opérateur effectue un contrôle visuel des produits fournis par les producteurs et s'assure du respect du "cahier des charges" (absence de souillures) rédigé par l'exploitant. Ce cahier des charges pourra contenir les éléments constitutifs suivants selon les cas : Absence de souches, troncs d'arbres et grosses branches ; Absence de pierres ; Absence de gazon tondu depuis plus de 8 jours ; Absence d'impuretés diverses (plastiques ...) ; Absence de déchets de nettoyage de la voie publique ... L'application de ce cahier des charges permettra d'améliorer la qualité du produit entrant.

- Tri

Les corps étrangers grossiers (s'ils ne sont pas en quantité trop importante) sont retirés avant que le produit ne soit repris et stocké sur une hauteur de 2,5 m à 3 m. Une benne permet de séparer les indésirables (terre, cailloux, sacs en plastique...) et de s'en débarrasser dans un centre dûment habilité (décharge voire incinérateur).

- Suivi des produits réceptionnés

Un bordereau de livraison des déchets verts sera rempli pour chaque apport, précisant les volumes (ou les tonnages) et dans la mesure du possible, la nature des catégories reçues (fiche G1).

- Stockage

Certains déchets verts peuvent être stockés plusieurs semaines voire plusieurs mois sur la plate-forme dans l'attente du compostage. Il s'agit des déchets ligneux, très carbonés et foisonnants qui n'évoluent pas ou peu dans le temps, même broyés, hormis par dessiccation. Cette caractéristique est particulièrement intéressante pour gérer les déchets verts très azotés et humides qui évoluent rapidement et spontanément, comme les gazons ou les déchets floraux. En effet, un stock de déchets ligneux, constitué au moment de leur production (automne-hiver), permet de réaliser avec les déchets très azotés (printemps-été) un mélange équilibré qui va bien composter.

- Mélange/broyage/mise en andains (quelques heures)

Le mélange doit aboutir au rapport C/N le plus proche de 30-35 et à une humidité de l'ordre de 60%. Dans le but de réduire le stock ligneux nécessaire, les tontes de gazon peuvent dès leur réception être directement réparties en couches minces sur les andains en fermentation.

- Le broyage

L'opération est en règle générale organisée sur l'aire de réception des déchets à l'aide : d'un chargeur équipé d'une fourche crocodile, d'un broyeur monté sur châssis routier ou agricole, pouvant avancer au fur et à mesure des besoins sur le chantier. Le broyage s'accompagne éventuellement d'un arrosage des matières végétales afin d'atteindre le taux d'humidité adéquat de 60 %. Les matières de TSM ne sont pas broyées.

- La mise en andains

Après le broyage, les matières sont transportées sur l'aire de fermentation puis mis en andains de 2 à 3 m de hauteur. Les matières de TSM sont mélangés aux déchets verts à ce moment-là soit par renversement de la cuve IBC au sol pour absorption des liquides à la base de l'andain soit épandage de la cuve IBC au-dessus de l'andain sur toute sa longueur.

- Fermentation active (2 à 3 mois) et retournement

Cette phase correspond à une intense dégradation des matières végétales présentes dans l'andain (déchets verts et matières de TSM le cas échéant) consommant de grandes quantités d'oxygène. Les andains doivent donc être retournés relativement fréquemment pour apporter l'oxygène consommé par le compostage, et humidifiés selon les besoins.

- Maturation (3 à 5 mois) et retournement

Durant la maturation, les matières dégradées sont en partie recomposées pour former des substances humiques ou pré-humiques. La consommation d'oxygène est plus faible et les andains peuvent être retournés de façon moins fréquente. Les arrosages sont arrêtés pour laisser le taux d'humidité atteindre un niveau compatible avec un bon criblage (de l'ordre de 40 %).

- Criblage du compost et stockage (0 à 3 mois)

Dans l'attente de l'opération de criblage, le compost stocké extérieurement est de préférence recouvert d'une bâche, ou mieux, stocké sous hangar. Le chantier nécessite un chargeur et un crible à tamis vibrant ou à tambour. Le compost affiné est stocké sous abri jusqu'à commercialisation du produit qui respecte les normes (voir ci-dessous), sur une hauteur de 3 m ou plus.

- Respect des Normes

En fonction des matières et des analyses, les composts affinés peuvent être commercialisés dans différentes classes en fonction du respect des normes (NF U44-051 ou NF U44-095). Il s'agit ici d'identifier dans le cadre de l'étude l'impact des matières de TSM sur les composts produits par ces plates-formes collectives dont les résultats analytiques finaux et la conduite du compostage respectent ces normes.

❖ Flux déchets verts et matières

Des calculs de flux (des déchets verts, déchets de cuisine, litières et matières de TSM) ont été réalisés comme le montre le Tableau 14. La mesure d'estimation des déchets verts est réalisée par la mesure de la taille de l'andain (longueur, largeur, hauteur) pour en déduire le volume. Le ratio est donc à l'échelle de l'ensemble d'un andain. Ces calculs de flux montrent la disparité des pratiques. Sur l'ensemble des plates-formes de compostage (F3 et F4) les matières issues des événements sont diluées lors de l'ajout de déchets verts. Les matières sont étalées sur le tas, et un retournement est pratiqué à la suite de l'apport de résidus de TSM. Une autre technique consiste à « benner » sur la dalle étanche les matières et les infiltrer sur la longueur de l'andain par le sol. Le ratio est donc à l'échelle de l'ensemble d'un andain. Le facteur de dilution est beaucoup plus important concernant les plates-formes de compostage collectives (F4), de l'ordre de 10 à 15. Dans les

Caractérisation des matières issues des Toilettes Sèches Mobiles et des risques sanitaires des filières d'assainissement



analyses notamment microbiologiques le facteur de dilution de la filière F4 par rapport à la F3 est à prendre en considération. L'idée est aussi de pouvoir produire des recommandations quant au flux de matière produit en fonction de la taille de l'événement (voir chapitre suivant).

Tableau 22: Flux des déchets

	Des déchets organiques de l'événement sont-ils gérés par le prestataire?	Estimation du volume de déchets organiques de l'événement?	Volume de matière mis en compostage sur la totalité de l'événement	Type de déchets verts et volume	Sur plate-forme 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 compostable	1 à 3 m ³	9,3 m ³	Déchets verts communaux (taille) 120 m ³	12,9/1

❖ Flux liquides sur les plates-formes de traitement

Pour la filière F3, les mises en compostage des matières collectées par L1 et L3 ont générés des lixiviats qui ont été absorbés par le milieu récepteur sans générer de nuisance ni de fort ruissellement. Les lixiviats sont infiltrés sur place. La génération de lixiviat pour E1 en fin de mise en compostage de 5,6 m³ de matière est décrite par la Figure 86.



Figure 86: Génération de lixiviat sur F3

Les mesures de perméabilité des sols chez L1 et L4 n'ont pas été réalisées. Les deux plates-formes sont implantés dans le respect des règles de l'art de l'ANC (plus de 35 m d'un puits, pas de proximité avec un cours d'eau et plus de 3 m des limites de propriétés / bâtiments / arbre / route).

Tableau 23 : Estimation du flux liquide par événement sur plate-forme non étanche

Evènement	Estimation du flux liquide total d'urine / lixiviat mis en compostage (F2+F3)	Surface d'infiltration réelle	Perméabilité K minimum admissible sur 2h de vidange
E1	3 m ³	9 m ²	>155 mm/h
E4	1.76 m ³	6 m ²	>146 mm/h
E5	0.825 m ³	2 m ²	>200 mm/h

Le tableau ci-dessus montre que les plates-formes individuelles pour permettre l'infiltration des flux des phases liquides doivent présenter des perméabilités de sols de classe « très perméables ». L'autre solution pour infiltrer de telles quantités serait de filtrer la phase liquide puis de l'épandre sur les composts pour gérer leur humidité et le rapport C/N d'autant plus que les composteurs assainissent les lixiviats produits sur les paramètres physico-chimiques [36]. Ces actions peuvent être faites sous réserves (i) du besoin de régulation de l'humidité des composts (ii) du faible risque sanitaire dans la manipulation des lixiviats et (iii) du faible risque de contamination environnementale par ces lixiviats. Ces trois éléments sont éclaircis dans le cadre de l'analyse ci-dessous de composition globale des matières.

Pour la filière F4, les plates-formes sont étanches. Lors des mises en compostage pour E2+E3 et pour E6 et moyennant des facteurs de dilution élevés en déchets verts, il n'a pas été observé de production de lixiviat par les composts. Les urines pures (F1) ont été intégrées aux andains soit par vidange de cuve IBC en « arrosage³¹ » soit au sol.

Les plates-formes collectives de compostages privés ont manifesté un intérêt dans les matières de TSM car ces matières sont liquides et riches en azote. Ce produit leur permet d'ajuster au mieux l'humidité et le rapport C/N des composts sans avoir recours à des intrants extérieurs payant (comme l'eau du réseau). Le caractère saisonnier de la production des matières de TSM a ici tout son intérêt puisque les plates-formes collectives de compostage ont moins besoin d'ajuster l'humidité en hiver.

Les plates-formes des filières F3 et F4 ne sont pas couvertes.

GESTION DU MAILLON TRAITEMENT

Sur la filière F3 de compostage individuel sur aire non étanche :

- Le facteur de dilution des excréta+litière sur les déchets verts est moyen (de 1 pour 2 à 1 pour 5).
- La gestion du compost est minime (pas de gestion de l'humidité et un retournement dans l'année).
- Les sols des plates-formes de compostage ont absorbés les lixiviats générés (y compris lors de l'ajout des urines F2 générées par l'événement).

Sur la filière F4 de compostage collectif en plate-forme privée étanche :

- Le facteur de dilution des excréta+litière sur les déchets verts est élevé de 1 pour 12 à 1 pour 15.
 - La gestion du compost respect un cahier des charges des pratiques précis défini dans les normes en vigueur. Ce cahier des charges doit permettre de respecter les résultats analytiques finaux des mêmes normes en vigueur (NF U44-051 et NF U44-095).
-

En fonction de l'activité des prestataires les flux gérés annuellement en matière de TSM (voir Tableau 16) sont très variables. Il est également important de souligner que ces flux sont saisonniers pour ce qui est de l'événementiel. Concernant les TSM de chantier, les quantités sont plus homogènes sur l'année mais représentent aussi des volumes plus faibles.

³¹ Les cuves IBC sont portées par charriot élévateur / andineur et la vanne de vidange de la cuve est ouverte sur l'andain puis le charriot se déplace pour asperger l'ensemble de l'andain.



Tableau 24: Comparatif des volumes annuels de litière gérée par prestataire

Prestataire	Quantité moyenne de matière de TSM gérée par an (T)	Ratio en tonne par jour ³²
L1	75	0,41
L2	150	0,82
L3	20	0,11
L4	150	0,82

La corrélation de ces flux avec la réglementation ICPE³³ n'engendrerait pas de soumission à déclaration.

4. Analyses des indésirables – Modèle « MODECOM »

Sur les 6 événements suivis, une analyse de la composition globale des matières a été réalisée sur le principe MODECOM³⁴. Cette analyse porte exclusivement sur le maillon collecte. Il s'agit donc d'une analyse sur la matière brute collectée avant toute action de tri. Le tri des indésirables débute dès la pré-vidange (étape entre la collecte et le transport qui consiste à vider les cuves de collecte dans une cuve de plus gros volume type IBC). Pour chacun des événements ce sont 3 bacs qui ont été analysés et la moyenne des résultats est présentée ici.

4.1. La grille de tri

La grille de tri préétablie d'après avis extérieur est présentée dans le Tableau 17 suivant :

Tableau 25: Grille de tri « MODECOM »

	MODECOM	Déchets rencontrés
Déchets fermentescibles	Excrément Bio déchets de cuisine	Déchet alimentaire Excrétas
Papiers	Papier hygiénique Emballage papier	Papier toilette Papier mouchoir Essuie mains Tract
Cartons	Autres cartons	Rouleau de papier hygiénique
Textiles	Textiles	Mouchoir
Textiles sanitaires	Fractions hygiénique Fraction papier souillés	Lingette de nettoyage Tampon Serviette hygiénique Couche
Plastiques	Bouteilles et flacons PEHT ou PEHD Autres plastiques	Bouteille et flacons PEHT ou PEHD Verre plastique Sac plastique Emballage alimentaire Film souple
Verres	Emballages verre	Bouteille en verre
Métaux	Métaux ferreux Métaux non ferreux	Canette

³² Le calcul est fait sur un an puis ramener à 6 mois à cause du fonctionnement saisonnier.

³³ 2 780 : Compostage de déchets non dangereux ou matière végétale

³⁴ <http://www.ademe.fr/expertises/dechets/chiffres-cles-observations/dossier/caracterisation-dechets/campagne-nationale-caracterisation-dechets-menagers-assimiles>



4.2. Résultats d'analyse

L'analyse a été réalisée sur les différents types de cuves (bidon métallique 50 L, bac plastique 54 L ou poubelle de 80 L) « pleines³⁵ » (en fin de soirée) ciblée de manière aléatoire sur chacun des 6 événements suivis.

- F1 et F2

L'analyse n'a pas été réalisée sur ces deux filières. Pour la filière F1, les prestataires L2 (cf. Figure 89) et L4 (cf. Figure 90) utilisent des pompes vide-cave pour remplir complètement des cuves IBC. Il n'y a donc aucun indésirable et la matière collectée est homogène (urine pure). Au maillon collecte, une grille peut permettre de séparer les éventuels éléments solides de l'urine. C'est dernier sont mis à la poubelle.

Pour F2, les prestataires L1 (cf. Figure 88) et L3 (cf. Figure 87) ont des pratiques différentes mais les matières rejoignent au final la filière F3 pour un compostage en plate-forme individuelle non étanche. L'analyse des indésirables est donc produite dans le cadre de cette filière (voir ci-dessous). Un tri manuel (avec des gants) des indésirables est réalisé lors de la vidange des bidons de collecte. Par exemple, L3 utilise une bassine criblée de trous remplie de sciure qui fait office de filtre. Les indésirables sont triés dans cette bassine avant de rejoindre les poubelles de F3. L1 réalise un tri au moment de la vidange du bidon dans la cuve IBC servant au transport pour rejoindre F3. Autant L1 que L3 disposent de poubelles prévues à la collecte des indésirables dans la zone de maintenance non accessible au publique.



Figure 87: F2/L3 urinoir+matière carbonée



Figure 88: F2/L1 urinoir+matière carbonée



Figure 89: F1/L2 urinoir pour urine pure



Figure 90: F1/L4 urinoir pour urine pure

- F3 et F4 sur le maillon collecte

Pour les filières F3 et F4, concernant le maillon collecte, les cabines ont des conceptions identiques avec des finitions différentes (cf. Figure 91 et Figure 92).

³⁵ Généralement les prestataires n'attendent pas que les cuves soient pleines à ras bord avant de procéder à la vidange. Elles sont en générale remplie à la moitié.



Figure 91: F4/L2 cabine pour excréta+lièrre



Figure 92: F4/L4 cabine pour excréta+lièrre

Une analyse « MODECOM » a été réalisé sur le maillon collecte des filières F3 et F4.

Tableau 26: Résultat d'analyse « MODECOM » sur maillon collecte (moyenne sur 3 cuves)

		E1				E2		E3		E4				E5				E6	
		Matières brutes		Matières traitées		Matières brutes		Matières brutes		Matières brutes		Matières traitées		Matières brutes		Matières traitées		Matières brutes	
Récepteur d'analyse	bidon 200L	Représenta	seau 15L	Représent	bac 54 L	Représent	bac 54 L	Représent	bidon 200L	Représent	seau 15L	Représent	pbelle 80L	Représe	seau 10L	Représe	pbelle 80 L	Représe	
Poids d'analyse (g)	3162,6	tivité	7665	ativité	2761,4	ativité	3240,2	ativité	3272,2	ativité	6762	ativité	1508,4	ntativité	5486	ntativité	7266,3	ntativité	
Déchets fermentescibles	paille+excrétas	2450	77,47%	7660,85	99,95%	0	0,00%	0,0	0,00%	2871,2	87,75%	6752,09	99,85%	0,0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	sciure + copeaux + excrétas	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	1270,0	39,20%	0	0,00%	0	0,00%	1266,6	83,97%	5474,6	99,79%	4050	55,74%
	copeaux dépoussiérés + excrétas	0	0,00%	0	0,00%	2254,6	81,65%	1719,2	53,06%	0	0,00%	0	0,00%	0,0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	déchets alimentaires	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0,0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0,0	0,00%	0	0,00%	1400	19,27%
Papiers	Papier toilette	690	21,82%	4	0,05%	487,2	17,64%	250,0	7,72%	365	11,15%	0	0,00%	241,8	16,03%	10	0,18%	1793,6	24,68%
	Papier mouchoir	0	0,00%	0	0,00%	3,4	0,12%	0,0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0,0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	Tract	2	0,06%	0	0,00%	0	0,00%	0,0	0,00%	4	0,12%	0	0,00%	0,0	0,00%	0	0,00%	6,9	0,09%
cartons	Rouleau de papier hygiénique	3	0,09%	0	0,00%	0	0,00%	0,0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0,0	0,00%	0	0,00%	1	0,01%
Textiles sanitaires	Tampon hygiénique	6	0,19%	0	0,00%	11,2	0,41%	0,0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0,0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	Serviette hygiénique	3	0,09%	0	0,00%	0	0,00%	0,0	0,00%	0	0,00%	9,5	0,14%	0,0	0,00%	0	0,00%	4,8	0,07%
	couche	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0,0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0,0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
Plastiques	Verre en plastique	6	0,19%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	18	0,55%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	Bouteille et flacons PEHT ou PEHD	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	12	0,37%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	Sac plastique	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	1	0,02%	0	0,00%
	Emballage alimentaire	0	0,00%	0,1	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0,4	0,01%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	Film souple	2	0,06%	0	0,00%	5	0,18%	1	0,03%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	4	0,06%
Verre > 2 mm	cannette	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
Métaux > 2 mm	cannette	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	aluminium	0	0,00%	0,05	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0,01	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
Déchets spéciaux	mégot de cigarette	0,6	0,02%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	2	0,06%	0	0,00%	0	0,00%	0,4	0,01%	6	0,08%



Les résultats du Tableau 26 ci-dessus sont présentés sur la matière sèche. Au regard des valeurs limites en inertes stipulées dans la NF U44-051 (voir Tableau 19 ci-dessous, pas de valeur stipulé dans les NF U44-095 et NF U42-001), il apparaît qu'au maillon collecte des matières de TSM la norme soit généralement respectée. Un cas particulier est à souligner en E4 pour la catégorie « autres plastiques » correspondant à « verre en plastique » et « bouteille PEHT ». Il s'agit ici d'inertes grossiers qui peuvent être facilement enlevés dans le cadre d'un tri manuel (voir ci-dessous).

Tableau 27: Valeurs limites en % de MS en inertes et impuretés (NF U44_051)

Inertes et impuretés	Valeurs limites	E1 brut	E1 traité	E2 brut	E3 brut	E4 brut	E4 traité	E5 brut	E5 traité	E6 brut
Films + PSE > 5mm	< 0.3 % MS	0.06	0	0.18	0.03	0	0.02	0	0.06	0.06
Autres plastiques > 5mm	< 0.8 %MS	0.19	0	0	0	0.92	0	0	0	0
Verres + Métaux > 2mm	< 2% MS	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Les inertes sont plus importants dans les cuves de collecte en l'absence de poubelle dans la cabine. Les principaux inertes identifiés sont les textiles sanitaires. En particulier, les lingettes nettoyantes à usage unique sont les plus problématiques car elles ne se dégradent pas, sont confectionnées avec des antiseptiques et se confondent avec le papier hygiénique. Leur présence est plutôt récente (au maximum 5 ans).

Entre les maillons collecte et transport, une vidange dans une cuve de plus grande taille est généralement réalisée (E1, E2, E3, E4, E6). C'est le moment pour le personnel des prestataires de procéder à un tri des inertes les plus gros (gobelet, textile sanitaire, bouteille, etc.). Ce tri est réalisé avec des gants et un outil dédié (râteau, pince, etc.) de manière « superficielle » pour les inertes facilement accessibles. Un second tri est réalisé lors de la mise en compostage pour la filière F3 (E1, E4, E5) par les prestataires. Les opérateurs des plates-formes de compostage collectives le réalisent également comme cela est spécifié dans leur cahier des charges) pour respecter la NF U44-051 (voir Tableau 27).

- F3 et F4 sur le maillon valorisation

Au maillon valorisation les mêmes analyses ont été réalisées sur les composts matures (avant épandage) uniquement sur les évènements avec traitement sur plate-forme individuelle à savoir E1, E4 et E5.

Dans l'idée de produire un compost de qualité à partir de déchets ménagers, la vérification de l'absence d'inertes se comprend très bien. Dans le cas de matières issues du compostage de résidus de TSM, il n'est pas sûr que cela soit vraiment très utile. D'autant plus que rien sur les inertes n'est mentionné dans la norme NF U 44-095 de 2002 (Amendements organiques – Composts contenant des matières d'intérêt agronomique, issues du traitement des eaux). Tout de même, nous proposons ici de réaliser l'analyse des composts (matières entre les maillons traitements et valorisation) de la filière F3, pour quantifier les éléments "indésirables", type plastiques, morceaux de verre, etc... Les composts produits par les filières F4 respectent déjà la NF U44-051 ou la NF U44-095. L'emploi de la norme XP U 44-164:2004, Amendements organiques et supports de culture — comme méthode d'analyse des composants inertes dans un compost de matières de TSM n'apparaît pas opportun du fait de sa complexité (dégradation par oxydation chimique de la matière par de l'eau de javel concentrée) et au regard du résultat attendu.

Il est donc proposé de suivre une procédure adaptée pour F3 qui sous la terminologie matières traitées (voir Tableau 26 ci-dessus) est menée sur le compost brut. Suite à une quartation des composts, un volume de 5 à 10 kg de compost mature est isolé puis trié à la main. Nous avons identifié dans ces composts la présence de cailloux (en moyenne 117g pour 5 kg de compost), de matières vivantes (*Eisenia foetida* avec un taux moyen de présence de 6g de vers pour 5 kg de compost) et d'inertes en très faibles quantités (voir Tableau 26 ci-dessus). En prenant le taux d'humidité moyen maximal de la NF U 44-051 de 70% pour corriger les valeurs du Tableau 26 nous obtenons les données du Tableau 27 qui respectent toutes la norme. Seule la présence d'un textile sanitaire pour E4 représentant 0.47% de la MS est à souligner bien que cet inerte ne soit pas compris dans la NF U44-051.

4.3. Conclusion



Toutes les cabines des prestataires suivis sont équipées de poubelles qui sont régulièrement vidées (au moins toutes les 2 heures pendant l'événement). Il s'agit d'une précaution nécessaire pour ne pas avoir trop de tri à réaliser dans les cuves de collecte. Selon les prestataires, l'absence de poubelle à l'intérieur de la cabine, augmente considérablement le nombre d'indésirables dans les composts.

L'analyse « MODECOM » menée sur le maillon collecte montre que les matières peuvent être intégrées dans un processus de compostage collectif. Pour F4 (donc pour E2, E3 et E6), l'analyse est réalisée directement par les plates-formes collectives. Il convient de souligner que les composts produits avec ajouts des matières de TSM sur les 2 plates-formes de compostage collectives respectent les normes NF U44-051 et NF U44-095 qui fixent des valeurs limites en sortie de processus en terme d'inertes.

GESTION DES INERTES

Les matières de TSM entrant en plate-forme (individuelle ou collective) et les composts produits respectent les valeurs limites imposées en inertes par les normes NFU U44-051 et NF U44-095. Pour garantir les valeurs limites, il est recommandé de :

- Disposer des poubelles dans toutes les cabines
- Réaliser un tri manuel avec un outil dédié lors de la vidange de la cuve de collecte (celle dans la cabine) soit dans la cuve de transport à plus gros volume (cuve IBC) soit directement sur la plate-forme de compostage individuelle.

5. Analyse de composition globale des matières

5.1. Paramètres de suivies des résidus, protocoles d'échantillonnage et méthode de caractérisation

5.1.1. Les paramètres suivis

Après validation du comité de pilotage, les paramètres qui ont été suivis par le laboratoire LABOCEA sont ceux décrits ci-dessous dans le Tableau 28 et Tableau 29.

Différents référentiels sont utilisés dans l'analyse de composition globale des matières. Ces référentiels ont été choisis au regard des matières suivies (urines pures, urines + matière carbonées et excréta + matières carbonées) et de la réglementation en vigueur. Ces référentiels sont les suivants :

- L'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères (OMS [37]) l'arrêté du 9 septembre 1997 (**relatif aux installations de stockage de déchets non dangereux**)
- la norme NF U44-095 (Amendements organiques - Composts contenant des matières d'intérêt agronomique, issues du traitement des eaux) [38]
- la norme NF U44-051 (Amendements organiques - Dénominations, spécifications et marquage)[39]

Tableau 28: Les paramètres suivis pour les filières F1 et F2

Paramètres suivis		Unité	Code d'analyse	NFU 42-001 (AFNOR)	EcoSanRes (EcoSanRes, 2011)
Essais environnementaux	Paramètre physico-chimie	pH		NF EN ISO 10523	
		MES	mg/l	NF EN 872	proche 9
	Matières organiques	DBO ₅	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 ³⁶
	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 16649-2-V08-031 juillet 2001	100/g M.B.	

Tableau 29: Les paramètres suivis pour F3 et F4

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% ³⁷ M.B	≥ 20% ³⁸ 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% ³⁹	<3%	
Essais microbiologiques	Parasitologie de l'Environnement	Œufs d'helminthes parasites /1,5g M.S.		FD X33-040	Absence dans 1g de M.B.* (Absence dans 25g de M.B.**)

³⁶ Valeur des éléments nutritifs d'un bidon d'urine (20L) au Burkina Faso

³⁷ MO stable = C organique stable *2 où C organique stable = C organique – C minéralisé

³⁸ MO stable = C organique stable *2 où C organique stable = C organique – C minéralisé

³⁹ La somme N+P₂O₅+K₂O doit être inférieur à 7 % de la matière brute



		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/2 5g		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 16649-2-V08-031 juillet 2001	10 ² /g MB	10 ⁴ /g M.B.* (10 ³ /g M.B.**)
		<i>C. perfringens</i>	UFC/g	NF EN ISO 7937	-	10 ³ /g M.B.* (10 ² /g M.B.**)
		<i>C. perfringens</i> : identification	Spores/g	NF EN ISO 7937	-	-
		Spores de bactéries ASR à 37°C	Spores/g	NF EN ISO 7937	-	-
	Essais de virologie		Détection du HAV Identification			-

D'autres analyses ont été programmées par le DEEP INSA de Lyon sont présentées dans le Tableau 30.

Tableau 30: Techniques de caractérisation physico-chimiques et microbiologiques des échantillons solides

Classe	Méthode	Unité
Analyses Physico-chimiques		
DCO sur échantillons liquides non filtrées	Méthode HACH N° 8000	mg O ₂ /L
Demande biologique en Oxygène (DBO ₂₈)	Méthode DEEP INSA-Lyon selon procédure OCDE 301	mg O ₂ /L
Activité Respiratoire en condition Statique d'aération (ARS)	Méthode DEEP INSA-Lyon selon la Ligne directrice 304A de l'OCDE	mgO ₂ /g _{MS}
Activité Respiratoire en condition Dynamique d'aération (ARD)	Méthode DEEP INSA-Lyon	mgO ₂ /g _{MS}

5.1.2. Développement du protocole

Les protocoles techniques et scientifiques d'expertise des filières sélectionnées ont été établis par le DEEP-INSA de Lyon et proposés à TDM qui, en collaboration avec le RAE, en a validé la faisabilité *in situ* (notamment avec les prestataires de TSM).

Le montage du protocole scientifique d'échantillonnage et de prélèvement a pris en compte les recommandations formulées dans le rapport d'état des lieux renforcé. Ainsi, un protocole général a été établi puis décliné pour tous les événements. Ce protocole concerne la sélection des méthodes de prélèvement –

échantillonnage et de caractérisation des matières de TSM selon les 4 filières identifiées. Il comprend aussi un descriptif des EPI (cf. *Figure 93*) tels qu'ils sont observable sur la *Figure 94*.

Le laboratoire d'analyse LABOCEA a également validé la partie analytique (voir chapitre 1) et les normes associées aux paramètres suivies.

Le protocole général d'échantillonnage est disponible en **Annexe 4**.

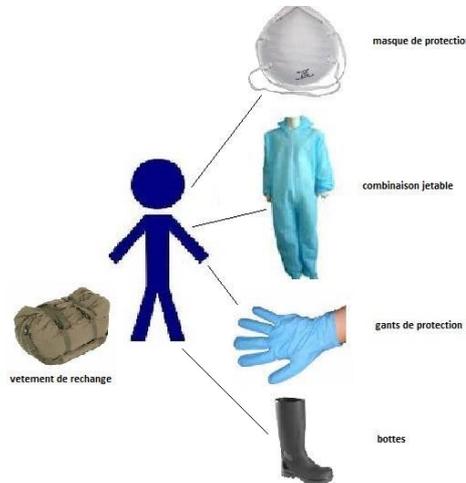


Figure 93: Représentation du matériel préconisé lors des prélèvements



Figure 94: Prélèvements réalisés sur E1

5.1.3. Codification des échantillons

Voici la codification des échantillons qui a été retenue :

Evènement

E1, E2, E3, E4, E5 et E6

Filière

Filière 1 : F1

Filière 2 : F2

Filière 3 : F3

Filière 4 : F4

Moment et lieu du prélèvement des échantillons

Prélèvement sur le site de l'évènement : PEV

Prélèvement initial : Pi

Prélèvement à 2 mois : P2

Prélèvement à 4 mois : P4

Prélèvement à 12 mois : P12

Prélèvement des déchets verts initiaux : PDV

Prélèvement de litière (matière carbonée) : PMC

Emplacement des TSM sur le site

Camping

Concert

Type d'analyse (ou nom du labo réalisant les analyses)

Microbiologique : MB

Physico-chimique : PC

Agronomique : AG

Stupéfiants : ST

Micropolluants pharmaceutiques : MP

Codification

Événement / filière / prélèvement / emplacement des TSM sur le site / type d'analyse ou laboratoire concerné par l'analyse
 Ex : E1 / F2 / PDV / camping / MB

5.1.4. Analyses de la campagne d'échantillonnage

5.1.4.1 Description

Les prélèvements sur le site de l'événement sont réalisés à la fin de chaque événement (c'est-à-dire avant le transfert des résidus de TSM vers la plate-forme de compostage). Ils sont effectués sur les différents sites de TSM de l'événement : zone d'activité (spectacles, activités commerciales, loges, ...) ou encore zone d'hébergement (camping) en fonction de la typologie de l'événement. Les flacons et les sacs sont étiquetés avant chaque période de prélèvement et portent la codification associée. Les contenants portent les mêmes numéros.

Dans le cadre de cette étude, les résidus liquides et « solides » (ces derniers s'avèrent être plutôt liquide avec des matières en suspension) de TSM ne présentent pas de grande hétérogénéité intrinsèque. Les échantillons doivent toutefois être représentatifs de l'événement ou du site au sein de l'événement.

Le Tableau 31 présente les structures en charge de l'échantillonnage sur les différents événements.

Tableau 31: Répartition de l'échantillonnage par événement

Evènements couverts	TDM	INSA de Lyon	RAE
E1	X	X	
E2	X	X	
E3	X	X	
E4		X	X
E5	X		X
E6			X
E7			X

Pour ces événements ce sont les échantillons décrits dans le Tableau 24 qui ont été réalisés.

5.1.4.2 Difficultés rencontrées

Deux colis d'échantillonnage sur le site de l'événement E5 ont été perdus par Chronopost et jamais transmis au laboratoire. Cet événement a été doublé par un événement E7 aux caractéristiques proches. Malgré cette perte, les envois Chronopost ont été efficaces et les conditions de réfrigération par des plaques eutectiques acceptables. Les échantillons ont été reçus le lendemain des envois avant 13h en bon état et à des températures inférieures à 20°C puis conservés à 4°C. Pour permettre une mise en conservation au laboratoire les échantillons ont été envoyés en début de semaine pour des réceptions au plus tard jeudi ou vendredi.

Au cours de la campagne de prélèvement de l'été 2015, 2 pratiques ont été identifiées comme récurrentes mais pas prises en compte dans le cadre de l'étude. Au regard du volume d'analyse encore disponible ces pratiques ont été suivies. Ces pratiques qui sont des cas particuliers doivent permettre d'établir une référence type « stockage » en cuve sans traitement spécifique pendant 4 mois. C'est en particulier le suivi microbiologique de ces cas qui sont pertinents pour une caractérisation des impacts sanitaires. Ces cas particuliers sont les suivants :

- E8 : un événement de faible envergure qui produit des matières pour remplir l'équivalent d'une cuve IBC. Le prestataire ne peut envoyer directement une cuve seule en plate-forme de compostage collective. Celle-ci est stockée en extérieur pour un envoi ultérieur. Les prélèvements sur cet événement doivent permettre d'évaluer l'évolution de la matière stockée dans cette cuve IBC étanche pendant 4 mois sans

manipulation. Ce travail doit permettre d'évaluer s'il y a plus ou moins de risques à manipuler la matière au cours du temps.

- E9: le prestataire remplit une cuve IBC d'un mélange de plusieurs petits événements avant de l'envoyer en plate-forme de compostage collective. Cette démarche lui prend 4 mois. La cuve est ensuite envoyée sur la plate-forme de compostage. Les prélèvements dans cette cuve, des déchets verts associés et du mélange initial suivi d'un prélèvement à 4 mois de compostage doivent permettre d'avoir un suivi de filière identique à E6 mais avec une cuve ayant un profil d'E8 et de mélange de plusieurs festivals.

Les itinéraires des cas E8 et E9 sont spécifiés dans la Figure 95 et Figure 96

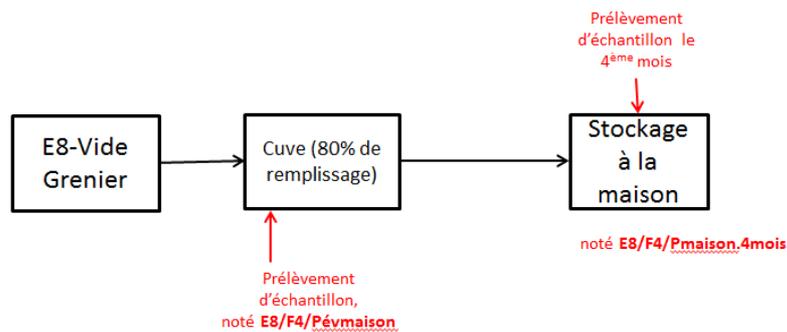


Figure 95: Itinéraire prélèvements E8

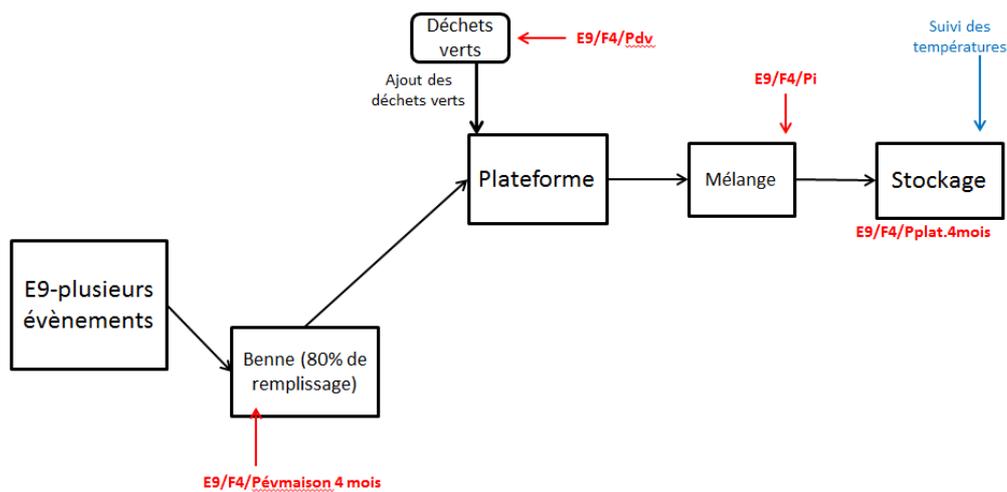


Figure 96: Itinéraire prélèvements E9

L'accès aux plates-formes collectives privées n'a pas été facile pour les filières F4. En particulier, en ce qui concerne les prélèvements en fin de processus de compostage. Il n'a pas été permis de réaliser l'échantillonnage sur le compost mature de l'événement 6 (E6/F4/P12mois). D'une manière générale les plates-formes de compostage collectives privées ont suivi des cycles de compostage qui leurs sont propres de 2 à 6 mois. La communication avec les gestionnaires des plates-formes n'a pas été facile malgré les explications répétées des objectifs de l'étude. De même, il n'a pas été possible de collecter des échantillons sur les plates-formes (pour E2+E3 et E6) au-delà de 4 mois pour les analyses microbiologiques.

5.1.5. Bilan des échantillons réellement collectés

Les tableaux suivants résument les échantillons collectés, ou à collecter sur les différents lieux d'événement et de traitement des matières. Les informations sont présentées selon les 4 filières étudiées dans les Tableau 32 et Tableau 33

Tableau 32: La synthèse de la liste des échantillons

Filière	Evènements	Type	Prélèvement	Code éch.
F1	E2	Hard	Ev concert	E2/F1/Concert/PEV

			Ev camping	E2/F1/Camping/PEV			
			6 mois	E2/F1/P6			
			Ev concert	E6/F1/Concert/PEV			
			Ev camping	E6/F1/Camping/PEV			
			3 mois	E6/F1/P3			
	E6	Medium	6 mois	E6/F1/P6			
			E3	Soft	Ev	E3/F1/PEV	
					6 mois	E3/F1/P6	
			F2	E4	Hard	Ev	E4/F2/PEV
						3 mois	E4/F2/P3
6 mois	E4/F2/P6						
E5	Medium	Ev entrée		E5/F2/Entrée/PEV			
		Ev Scène		E5/F2/Scène/PEV			
		6 mois		E6/F2/P6			
E1	Soft	Ev		E1/F2/PEV			
		3 mois		E1/F2/P3			
		6 mois		E1/F2/P6			
E7	Medium	Ev1		E7/F2/PEV1			
		Ev2	E7/F2/PEV1				
		6 mois	E7/F2/P6				
F3	E4	Hard	Ev	E4/F3/PEV			
			4 mois	E4/F3/P4			
			12 mois	E4/F3/P12			
	E5	Medium	Ev entrée	E5/F3/Entrée/PEV			
			Ev Scène	E5/F3/Entrée/PEV			
			Ev intérieur	Colis perdu par chronopost			
			Ei ⁴⁰	Colis perdu par chronopost			
			4 mois	E5/F3/P4			
			12 mois	E5/F3/P12			
	E7	Soft	Ev1	E7/MC			
			Ev1	E7/F3/PEV1			
			Ev2	E7/F3/PEV2			
			E DV ⁴¹	E7/F3/PDV			
			initial	E7/F3/PIni			
			4 mois	E7/F3/P4mois			
			12 mois	E7/F3/P12mois			
	E1	Soft	Ev	E1/MC			
			E DV	E1/F3/PDV			
			Ev	E1/F3/PEV			
			Ei	E1/F3/PIni			
4 mois			E1/F3/4mois				

⁴⁰ Ei : Le mélange des matières et des déchets verts.

⁴¹ Prélèvement des déchets verts mélangés (homogénéisé)



			12 mois	E1/F3/12mois
F4	E2	Hard	Ev concert	E2/PMC
			Ev concert	E2/F4/Concert/PEV
			Ev camping	E2/F4/Camping/PEV
			DV	E2/F4/PDV
			Initial	E2/F4/PIni
			2 mois	E2+E3/F4/P2mois
	E6	Medium	Ev concert	E6/PMC
			Ev camping	E6/F4/Camping/PEV
			Ev concert	E6/F4/Concert/PEV
			DV	E6/F4/PDV
			Initial	E6/F4/PIni
			4 mois	E6/F4/4mois
				12 mois
E3	Soft	Ev	E3/F4/PEV	

Sur les événements supplémentaires les prélèvements réalisés sont décrits dans le Tableau 33.

Tableau 33: Liste des échantillons E8 et E9

Filière	Evènements	Type	Prélèvement	Code éch.
F4	E8	Soft	Ev	E8/F4/PEV
			Emaison	E8/F4/Pmaison
			4 mois	E8/F4/Pmaison-4-mois
	E9	Medium	Emaison	E9/F4/Pmaison-4-mois
			DV	E9/F4/PDV
			Initial	E9/F4/Pinitial
			E4mois	E9/F4/Pplate-forme-4-mois

Sur l'ensemble des 4 filières, l'hétérogénéité des échantillons rend difficile les prises d'essais par le laboratoire LABOCEA. Mais l'ensemble des séries ont été validées en interne. Ainsi, il n'y a pas de remise en cause des séries analytiques réalisées.

5.2. Caractéristiques sur les Phases Liquides (F1 et F2)

Selon l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé (OMS)), les préconisations existantes portent sur les conditions de traitement et les cultures d'épandage, pour traitement par stockage en bidon étanche fermé de 30 jours à 12 mois est nécessaire. Aucune recommandation n'a jamais été faite sur des urines pures non stockée et la possibilité d'un épandage direct. L'étude des phases liquides des matières de TSM (F1 et F2) se situe dans ce contexte.

5.2.1. Caractéristiques physico-chimiques en phase liquide (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 hygiénisée est nécessairement basique (aux environs de 9). On s'aperçoit que le pH devient

⁴² Résultats en attentes.



vite stable et basique, ce qui favorise l'élimination de germes fécaux éventuellement présents dans les urines (ex : *E.coli* et ARS).

Le pH peut être influencé par la teneur en ammoniac présente dans l'urine. L'urine de la filière 1 (F1) ne contient pas de matière carbonée en suspension et celle de F2 un peu (contact avec de la matière carbonée avant filtration). C'est la phase de dégradation qui est accélérée par la matière organique.

Sur la *Figure 97*, on voit bien que les pH, au moment de la collecte, pour E1, E2 et E5 sont déjà égaux ou supérieur à 9. À contrario, pour E3, E6 et E7 les pH sont neutres puis augmentent avec le stockage. Il est possible que le temps de stockage des urines avant analyse (12 à 72h) dans des bidons (ayant contenus des traces de matières organiques) pas toujours fermés et stockés à température ambiante (en été à plus de 25-30°C pour E1 et E2 et plus de 20°C pour E5) ait permis à celles-ci de se dégrader et d'engendrer un changement de pH.

Les événements (E3 et E7) pour lesquels le pH reste bas à P₀ montrent que l'hydrolyse de l'urée n'est pas systématique.

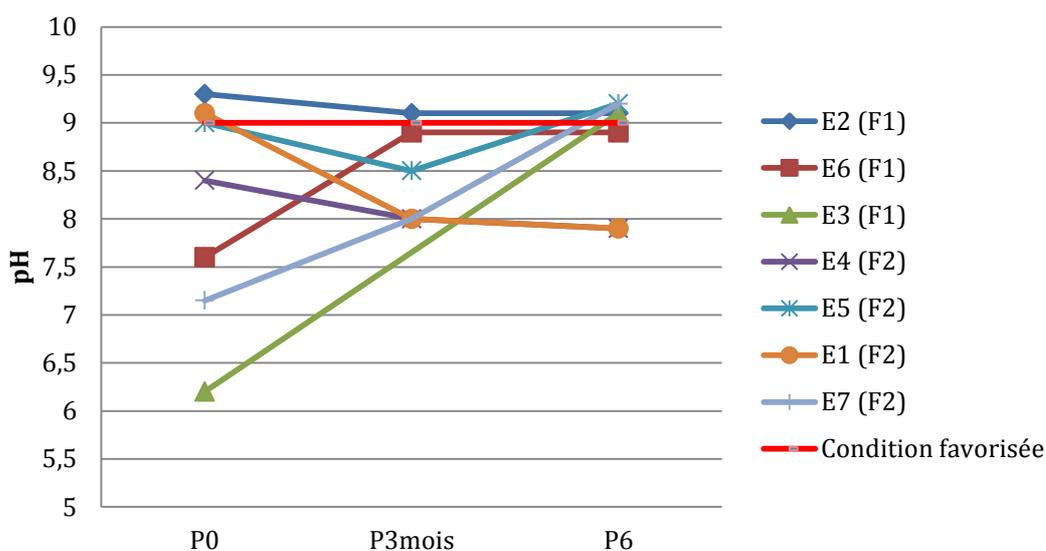


Figure 97: Comparaison de l'évolution du pH de l'urine (F1 et F2)

Les prélèvements à trois mois ont pu permettre l'aération de l'urine et dégagement d'ammoniac d'où un possible baisse du pH.

EVOLUTION DU PH EN F1 ET F2 – PHASE LIQUIDE

Les pH deviennent très rapidement basiques après la collecte créant ainsi rapidement un milieu alcalin défavorable au développement des pathogènes mais aussi à la dégradation de la matière organique et de l'azote.

❖ 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. L'origine des matières en suspensions dans les urines pures vient de 3 types de précipité durant le stockage : struvite, apatite et calcite. F1 n'est pas en contact avec de la matière tandis que F2 est en contact avec de la litière. Une distinction est nécessaire. Globalement, les MES sur F2 sont plus élevées que pour F1 au maillon collecte (P0).

Les MES des 2 filières (cf. Figure 98 et Figure 99) connaissent une tendance à la diminution au bout de 6 mois liée à la décantation / sédimentation. Cela pourrait avoir tendance à montrer la biodégradation des 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. À titre de comparaison la valeur des MES pour un effluent d'eaux résiduaires urbaines traité doit être inférieur à 25 mg/L, valeur obtenue pour des urines pures en 6 mois de stockage. 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.

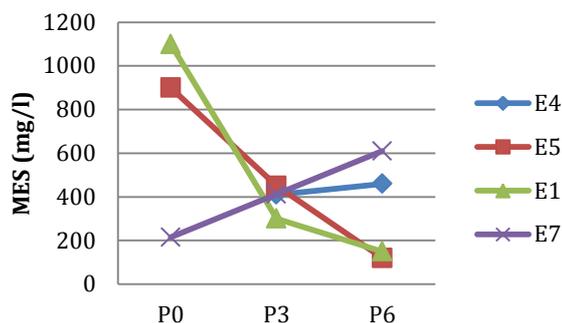
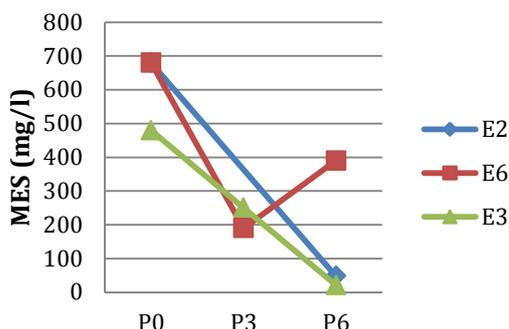


Figure 98: L'évolution des Matières en Suspension (F1) Figure 99: L'évolution des Matières en Suspension (F2)

❖ 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 [40].

○ Mesures réalisées par LABOCEA

Les mesures présentées dans les Figure 100, Figure 101 et Figure 102 ont été réalisées par LABOCEA sur des échantillons filtrés.

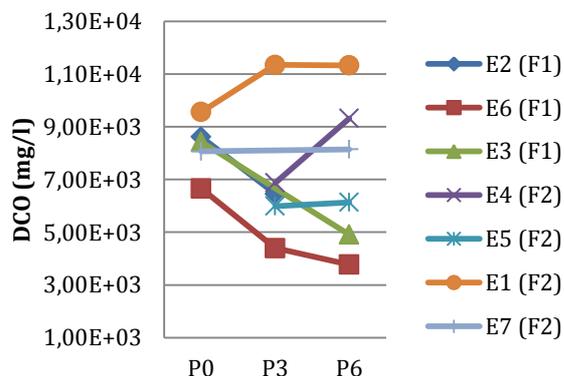


Figure 100: L'évolution de la DCO (F1 et F2)

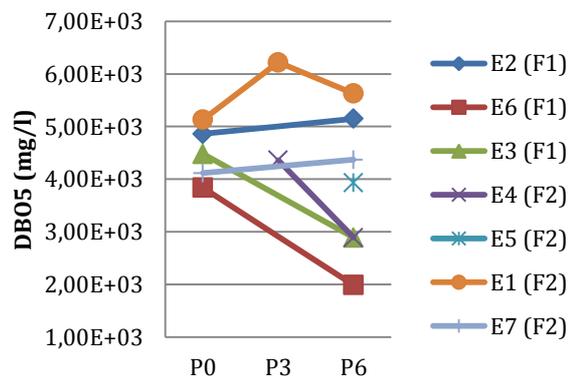


Figure 101: L'évolution de la DBO₅ (F1 et F2)

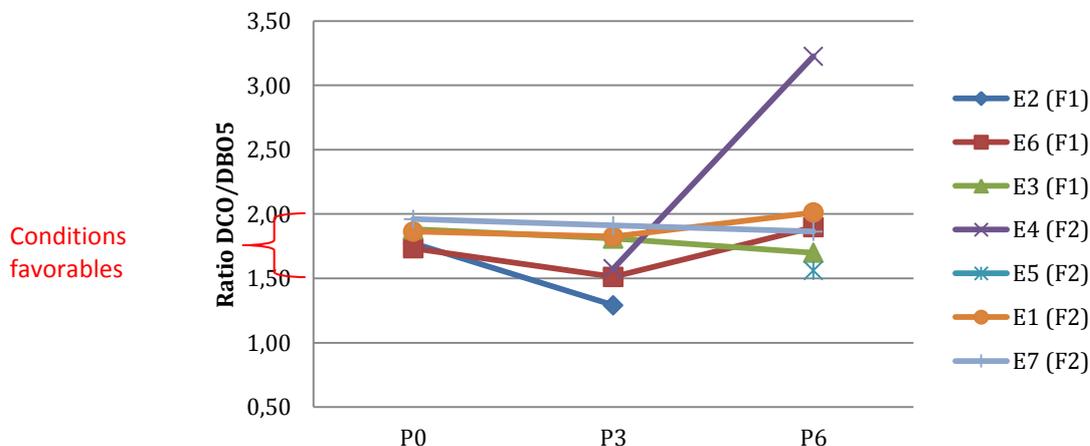


Figure 102: L'évolution du ratio DCO/DBO₅

Pour la DCO à ces teneurs, l'incertitude de mesure est de 10%, les tendances sont donc confirmées pour la Figure 100. 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. Ces valeurs sont de l'ordre des eaux usées urbaines ou des urines. Cette stagnation peut être liée à l'alcalinité des urines (pH = +/- 9) qui inhibe le processus de biodégradation.

○ **Mesures réalisées par l'INSA-Lyon**

L'INSA-Lyon a poussé l'analyse de la DBO sur un cycle de 28 jours pour différents événements (E1, E2, E4, E6, E7⁴³) et pour des échantillons non-filtrés et homogénéisés. Les analyses réalisées sont les suivantes :

- Mesure de la DCO sur liquides non filtrés : mesure de la charge organique total de l'effluent (à comparer avec données de DCO sur éch. filtrés, LABOCEA),
- Mesure de la DBO₅ et DBO₂₈ sur liquides non filtrés : mesure de la biodégradabilité de la charge organique total (également à comparer avec DBO₅ déterminées sur échantillons filtrés LABOCEA). Calcul du taux de conversion bio : DBO/DCO*100 à 5 et 28 jours.

Tableau 34: Comparaison de l'évolution de la DCO et de la DBO entre échantillons filtrés ou non

Filière (F1)		ISAE (éch. filtrés)			INSA (éch. non filtrés - homogénéisés)				
Evènements	Code éch.	DCO (mg/L)	DBO ₅ (mgO ₂)	% bioconv	DCO (mg/L)	DBO ₅ (mgO ₂)	% bioconv	DBO ₂₈ (mgO)	% bioconv
E2	E2/F1/Concert/PEV	5080	3030	59,6	5205	3608	69,3	4441	85,3
	E2/F1/Camping/PEV	12148	6690	55,1	13530	7557	55,9	8427	62,3
	E2/F1/6Mois	NR	5150	-	6665	3295	49,4	5805	87,1
E6	E6/F1/Concert/PEV	5713	3160	55,3	6967	2954	42,4	6030	86,6
	E6/F1/Camping/PEV	7605	4520	59,4	8920	3522	39,5	3674	41,2
	E6/F1/P6Mois	3776	2890	76,5	4204	2670	63,5	2822	67,1
Filière (F2)		ISAE (éch. filtrés)			INSA (éch. non filtrés - homogénéisés)				
Evènements	Code éch.	DCO (mg/L)	DBO ₅ (mgO ₂)	% bioconv	DCO (mg/L)	DBO ₅ (mgO ₂)	% bioconv	DBO ₂₈ (mgO)	% bioconv
E4	E4/F2/PEV	??	??		12331	7273	59	8598	69,7
	E4/F2/P3mois	6874	4360	63,4	11705	4233	36,2	6936	59,3
	E4/F2/P6mois	9321	3190	34,2	9410	3267	34,7	6800	72,3
E1	E1/F2/PEV	9560	5130	53,7	10565	7841	74,2	10075	95,4
	E1/F2/P3mois	11349	6220	54,8	12360	5909	47,8	8371	67,7
	E1/F2/P6mois	11327	5630	49,7	13071	5454	41,7	7348	56,2
E7	E7/F2/PEV	8053	4115	51,1	9591	5113	53,3	5246	54,7
	E7/F2/P6M	8146	4370	53,6	9119	4545	49,8	4621	50,7

L'analyse est la suivante pour le Tableau 34.

- Filtration :
 - pas de différence très importante entre DCO sur éch. filtrés ou non sur F1. Vrai également pour F2, sauf (E4/F2/3M),
 - sur DBO₅, globalement tendance à obtenir des taux de consommation d'oxygène plus faibles sur échantillons non filtrés (DBO₅ plus faibles).

⁴³ Les échantillons collectés pour E5 ont été perdus par Chronopost



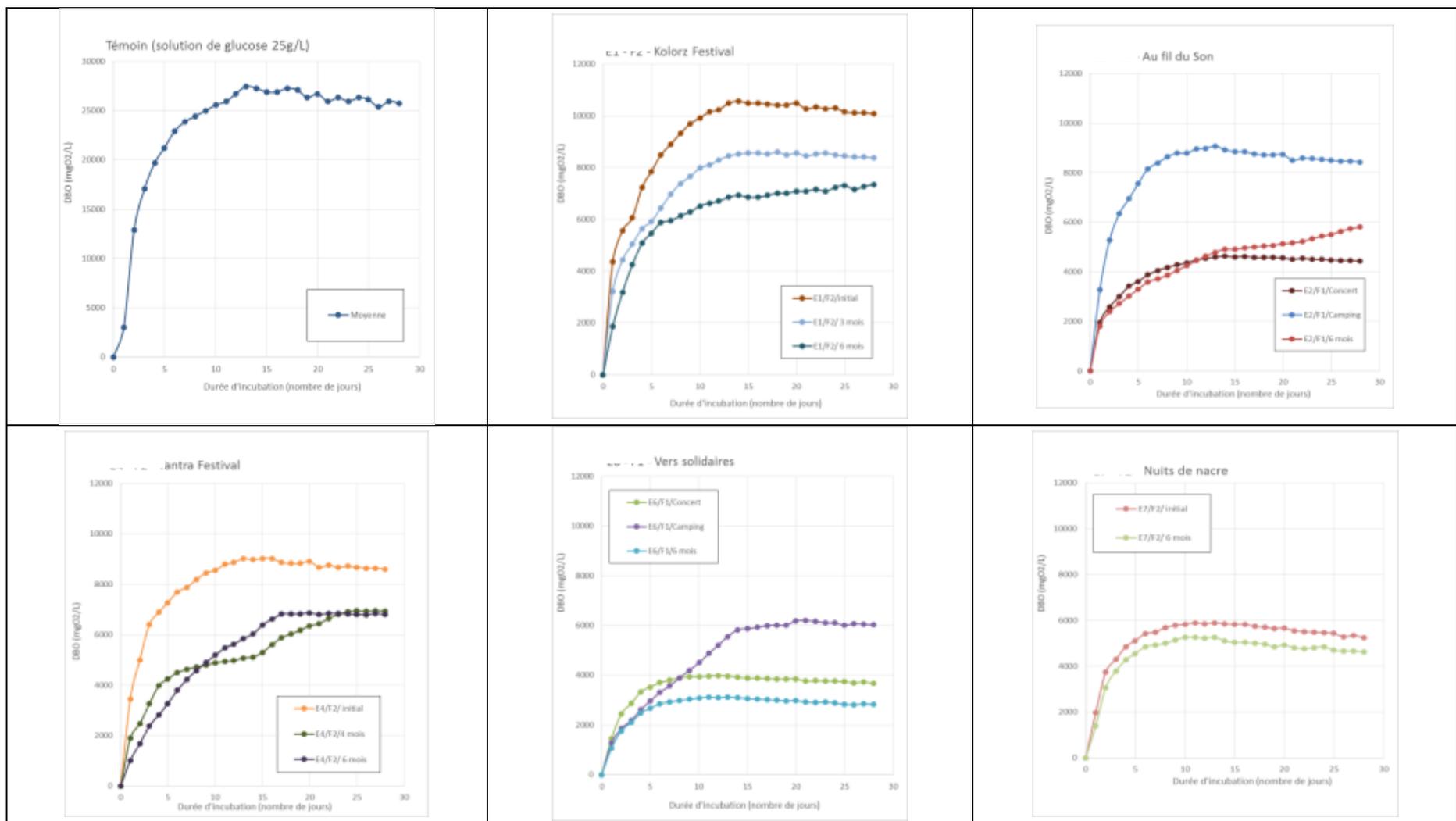


Figure 103 : Évolution de la DBO sur les différents événements en fonction de la durée d'incubation



Concernant la Figure 103 :

- $DBO_5 - DBO_{28}$: des écarts importants entre les deux valeurs. Une durée d'incubation plus longue conduit à un abattement plus important de la charge organique.
- $DCO = f(\text{temps de stockage})$: nette tendance à la baisse sur la plupart des événements. Sauf E1 (trop d'ammoniac ?). Les DCO restent élevés après 6 mois de stockage
- $DBO = f(\text{temps de stockage})$: nette tendance à la baisse pour tous les événements, vrai sur DBO_5 ou 28 jours. DBO élevées après 6 mois de stockage.
- Lieu de prélèvement : des différences nettes, en termes de DCO et DBO : charge plus importante dans « camping ».

Les bactéries qui participent à la dégradation ont besoin d'un équilibre nutritionnel pour leur développement. Cet équilibre est illustré par un rapport $DBO_5:N:P$ de 100 :5 :1 nécessaire au traitement biologique. Les valeurs trouvées dans le cadre de l'étude pour F1 et F2 sont proches de celles de la bibliographique (voir publications de l'OMS et de l'ONEMA) et confirme que l'urine est plus facilement biodégradable que les matières fécales.

ÉVOLUTION DE LA DÉGRADATION DE LA MATIÈRE ORGANIQUE

- Absence de différence de tendance entre les filières F1 et F2
- Le Ratio DCO/DBO reste inférieur à 2 caractérisant des urines encore riche en matière organique et dont la biodégradabilité doit être facilement réalisable par le sol en milieu aérobie lors de l'épandage.

❖ Azote

L'urine récupérée (F1) traverse d'abord un collecteur, puis est stockée dans un bidon étanche (cuve IBC ou bidon 200L). Pour F2, elle est collectée en fûts puis transvasée dans un bidon de stockage après filtration de la matière carbonée.

Certaines quantités d'azote (et de phosphore) peuvent s'évaporer lors de la collecte ou des actions de transvasement. Une expérience a été réalisée en Allemagne pour confirmer cette hypothèse [41]. Après contact avec l'air pendant un certain temps, l'évaporation de l'ammoniac contenue dans l'urine est observée.

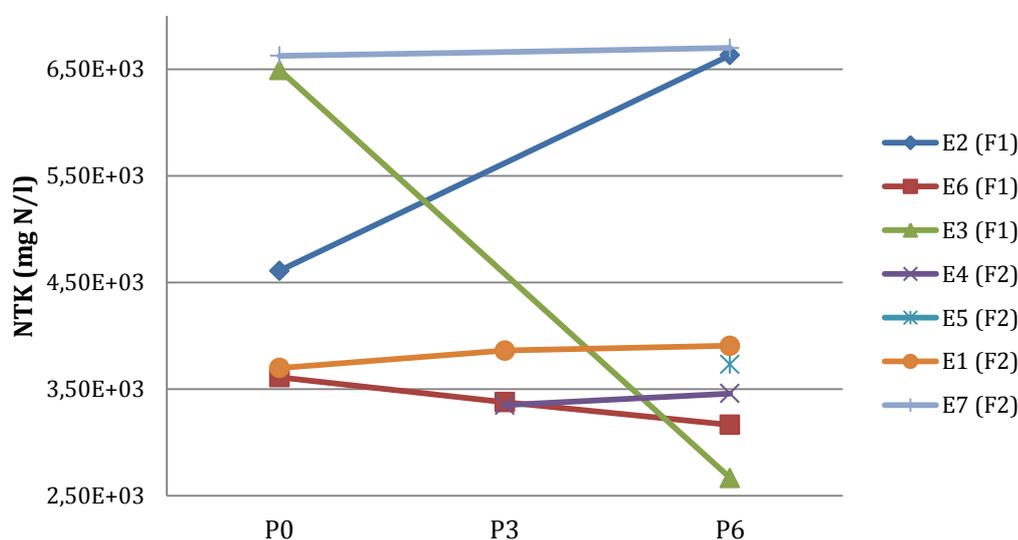


Figure 104: L'évolution de NTK de F1 et F2

L'azote est présent à un niveau normal (selon la littérature) de concentration dans les urines (NTK de 3,5 à 6,5g/L). L'évolution de la concentration en azote réduit au cours du stockage est stable. Seul E3 et dans une moindre mesure E6, se caractérise par 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.

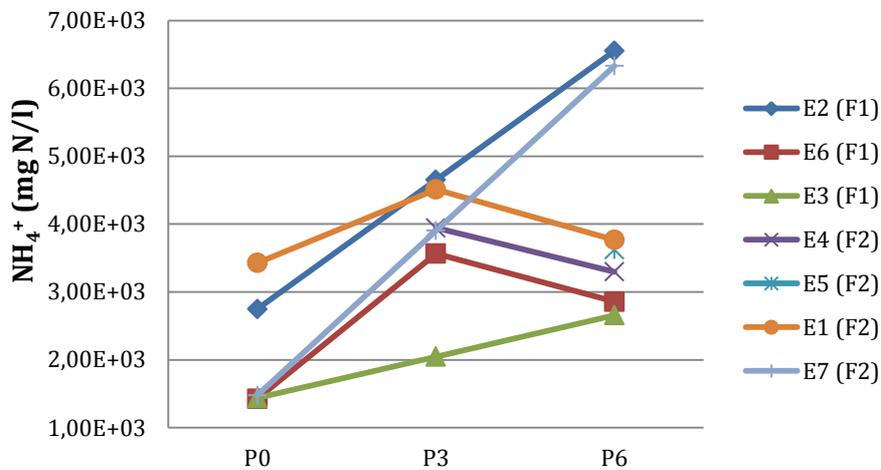


Figure 105: L'évolution de NH_4^+ de F1 et F2

Il y a dégradation de l'urée car 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 en NH_4^+ pour E2 n'ont pas pu être interprétées.

Pour conclure, l'urine en absence d'air (en bidon fermé) perd moins d'azote ammoniacal. 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 [42].

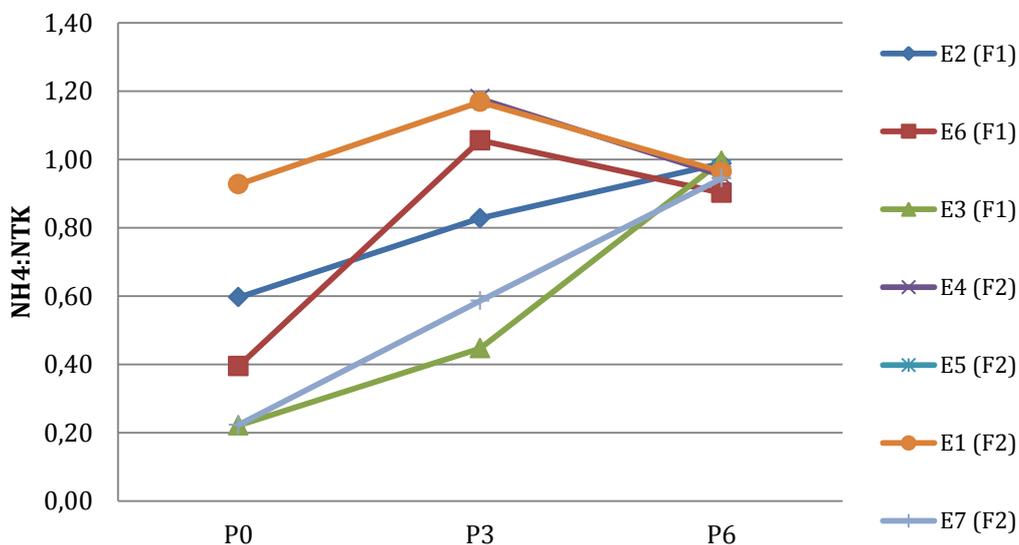


Figure 106: L'évolution du ratio de NH_4/NTK

Sur la Figure 106, on voit que le ratio de NH_4^+/NTK a une tendance à l'augmentation durant les 6 mois de stockage. On peut dire que la teneur en NH_4^+ sous la forme dissous dans l'urine est très importante et correspond quasiment à l'azote totale donc la majorité de l'azote contenu dans l'urine est sous forme ammoniacale en fin de stockage assurant l'hygiénisation et la stabilisation du rapport DCO/DBO₅. D'un point de vue agronomique, il semblerait que l'ion ammonium ait tendance à augmenter. On observe une confirmation

de l'effet conservateur en milieu alcalin pendant le stockage avec l'absence de biodégradation aérobie ou anaérobie.

Il est important de garder le bidon rempli et fermé pendant le stockage pour éviter la perte en azote.

SYNTHÈSE SUR L'AZOTE POUR F1 ET F2

- Absence de différence de tendance entre les filières F1 et F2,
- La teneur en azote est stable au cours du stockage en bidon fermé,
- Les valeurs obtenues sont de l'ordre de grandeur (un peu en dessous) de la littérature pour les urines (en moyenne 6g/L),
- L'urine en absence d'air (type bidon fermé) ne permet pas ou peu à l'azote ammoniacal de s'échapper. 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 [42].

❖ Phosphate

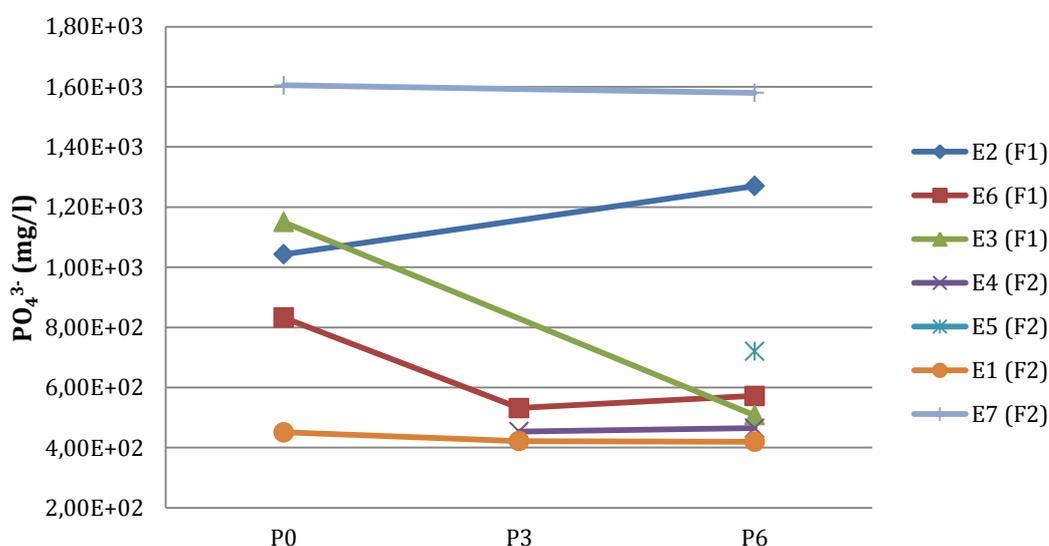


Figure 107: L'évolution de phosphate de F1 et F2

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 avec des concentrations de l'ordre de grandeur de la littérature (environ 1 g/L selon l'OMS [37]).

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. Effectivement, la présence de magnésium favorise la création d'un précipité de struvite.

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

❖ Suivi de la minéralisation de l'urine

Pour assurer la biodégradation du milieu, un équilibre nutritionnel illustré par le rapport DBO₅:N:P, nécessaire au traitement biologique est de 100 :5 :1 [43]. Ainsi, le ratio DBO₅/N doit être autour de 20, et celui de N/P autour de 5. Comme on l'observe sur la Figure 108 le ratio DBO₅/N est beaucoup plus faible (que la référence [43]) montrant des « matières » riches en azote et sur la Figure 109 le ratio N/P est dans la moyenne. Dans les deux cas, l'évolution au cours du stockage peut être considérée comme faible. Les urines ne se dégradent pas et sont stables.

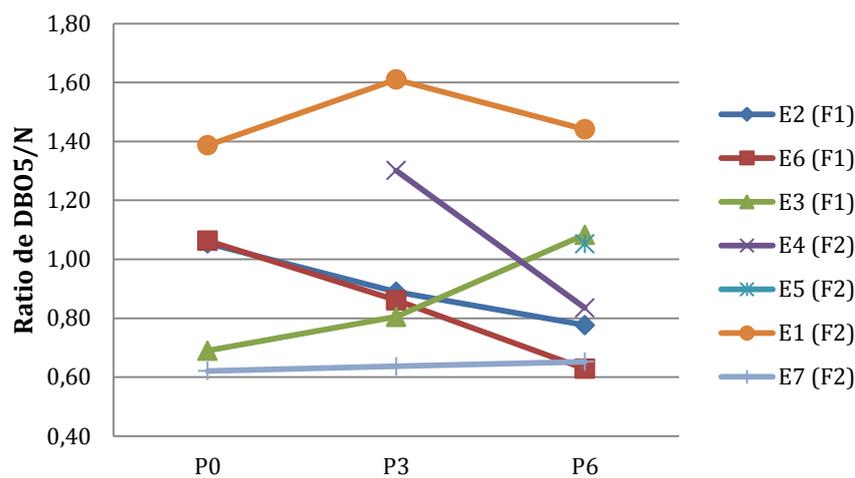


Figure 108: L'évolution du ratio DBO5/N

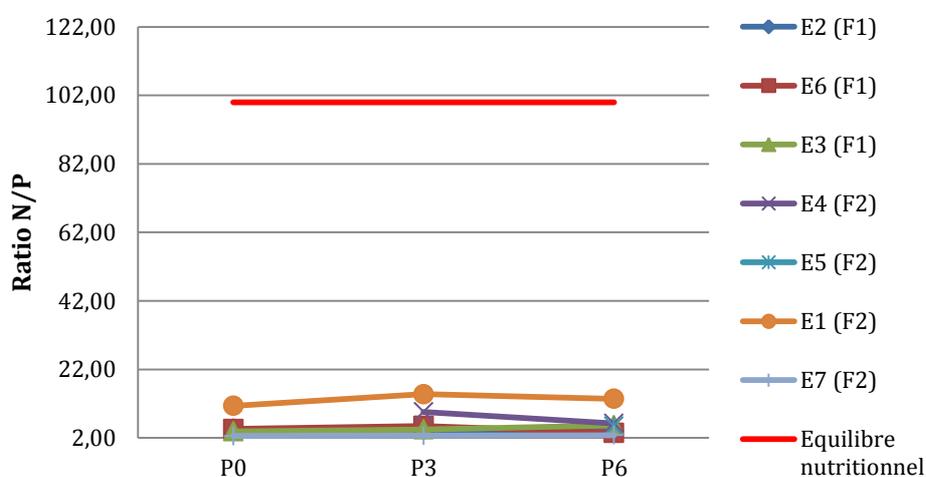


Figure 109: L'évolution du ratio N/P

L'oxygène présent dans l'urine ne suffit pas pour que cette dernière puisse se biodégrader. La biodégradation aura lieu dans la phase de valorisation afin de permettre une bonne assimilation de l'azote par les plantes. Le cas de E1 semble particulier au regard des autres événements. Le contact avec la paille dans l'urinoir et les fortes chaleurs pendant l'événement a pu avoir une incidence sur les ratios de départ qui sont très élevés. Ce taux élevé montre une forte présence en azote par rapport au phosphore.

SYNTHÈSE DE L'ÉVOLUTION AGRONOMIQUE DES URINES STOCKÉES

Absence de différences de tendance entre les filières F1 et F2. La matière carbonée utilisée en F2 n'a d'impact ni sur la biodégradation de l'urine ni sur les odeurs.

Globalement la biodégradation de l'urine est très rapide, il convient pour éviter les pertes en azote par évaporation (N₂) de stocker rapidement l'urine en bidon fermé.

Au regard des références bibliographiques, les valeurs en matière organique, azote et phosphore facilement assimilables par les plantes après 3 mois de stockage sont intéressantes d'un point de vue agronomique. Il est utile d'un point de vue agronomique de procéder à une valorisation par épandage des urines.

5.2.2. Caractéristiques microbiologiques en phase liquide (F1 et F2)

Les analyses réalisées sur le paramètre bactériologique « *Salmonella* » et sur le parasite « *Œufs d'helminthes viables / non viables* » n'ont montré aucune présence sur les filières F1 et F2. Ce sont 20 analyses qui ont été

réalisées pour le paramètre Salmonelles et 4 analyses sur la filière F2 en fin de traitement (6 mois de stockage) pour E1, E4, E5 et E7.

❖ E.coli

On constate en Figure 110 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 d'abattement supérieur à 3 log.

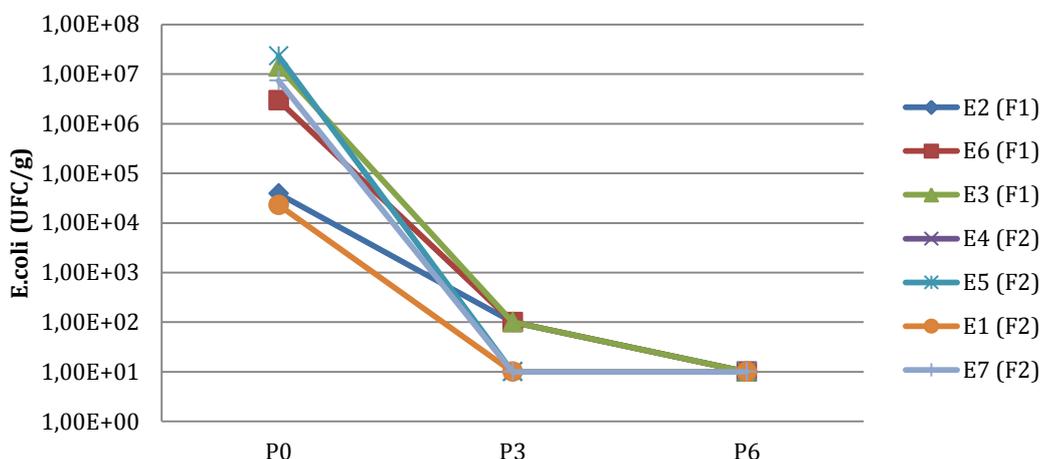


Figure 110: Comparatif des résultats pour le paramètre E.coli de F1 et F2

❖ 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.

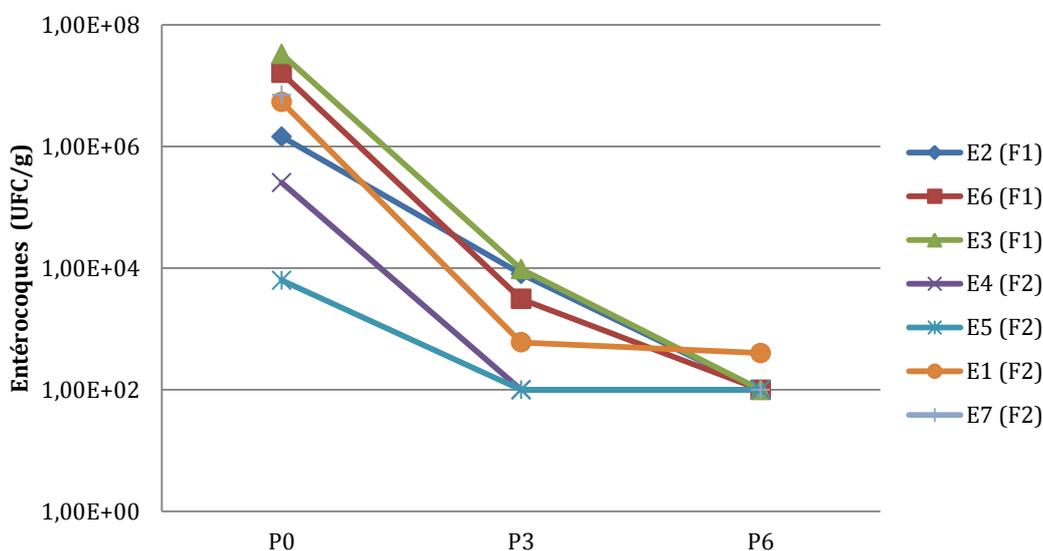


Figure 111: Comparatif des résultats pour le paramètre « Entérocoques » de F1 et F2

L'abattement des pathogènes observé est uniquement due au stockage à l'air ambiant et à l'absence de nutriment pour les bactéries.

D'un point de vue microbiologique, la présence d'E.coli et d'entérocoques dans les urines collectées a été identifiée. Même si les urines peuvent être stériles, elles ne le restent pas longtemps du fait de contamination par les cuves de stockage et/ou les zones d'acheminement à cette cuve. Maladie, infections urinaires, parasite... cela dépend de l'hygiène de chacun mais les taux relevés ici sont classiques car une personne contaminée peut contaminer un gros volume. L'urine collective doit toujours être considérée comme non stérile du fait de la probabilité non négligeable de la présence de personnes malades.

ÉVOLUTION SANITAIRE DES URINES

Absence de différences de tendance entre les filières F1 et F2 :

Les urines peuvent être considérées comme non contaminées après 3 mois de stockage (considéré comme la fin du maillon de traitement). Cette durée est 3 fois plus longue que les études de l'OMS [37] et d'EcoSanRes [44] (30 jours s'il n'y a pas eu de contamination par les matières fécales).

Sur les événements suivis, les urines ne contiennent ni virus, ni parasites (maillon de collecte).

5.3. Analyse sur les Phases Solides (F3 et F4)

5.3.1. Mesures d'activités respiratoires

Les essais ARS et ARD présentés ci-dessous seront complétés pour les mesures d'activité respiratoire en fin de cycle de compostage. Les séries d'essais seront lancées au début du mois d'octobre les échantillons ayant déjà été prélevés.

❖ Mesure de MS et MOT

Tableau 35: Taux de Matière Sèche et de Cendres des échantillons analysés pour les activités respiratoires

Code éch.	%MS	%MOT	%cendres
E1/F3/PEV	11,87%	92,95%	7,05%
E1/F3/4mois	23,02%	89,96%	10,04%
E1/F3/12mois	20,74%	90,38%	9,62%
E2/F4/Concert/PEV	12,20%	94,66%	5,34%
E2/F4/Camping/PEV	14,66%	94,83%	5,17%
E2+E3/F4/P2mois	65,07%	73,56%	26,44%
E4/F3/PEV	12,67%	90,07%	9,93%
E4/F3/4mois	25,52%	76,11%	23,89%
E4/F3/12mois	20,18%	86,63%	8,55%
E5/F3/Entrée/PEV	14,59%	96,62%	3,38%
E5/F3/Scène/PEV	18,50%	97,49%	2,51%
E5/F3/P5mois	24,54%	97,56%	2,44%
E5/F3/P12mois	30,12%	91,45%	8,55%
E6/F4/Camping/PEV	25,61%	97,37%	2,63%
E6/F4/Concert/PEV	29,47%	97,98%	2,02%
E6/F4/4mois	64,22%	27,98%	72,02%
E7/F3/PEV	21,45%	96,53%	3,47%
E7/F3/P4mois	36,75%	48,90%	51,10%
E7/F3/P12mois	34,46%	79,85%	20,15%

Le Tableau 35 ci-dessus permet de réaliser un contrôle pour chaque échantillon des taux de matières sèches et de matières volatiles.

❖ Mesure des ARS



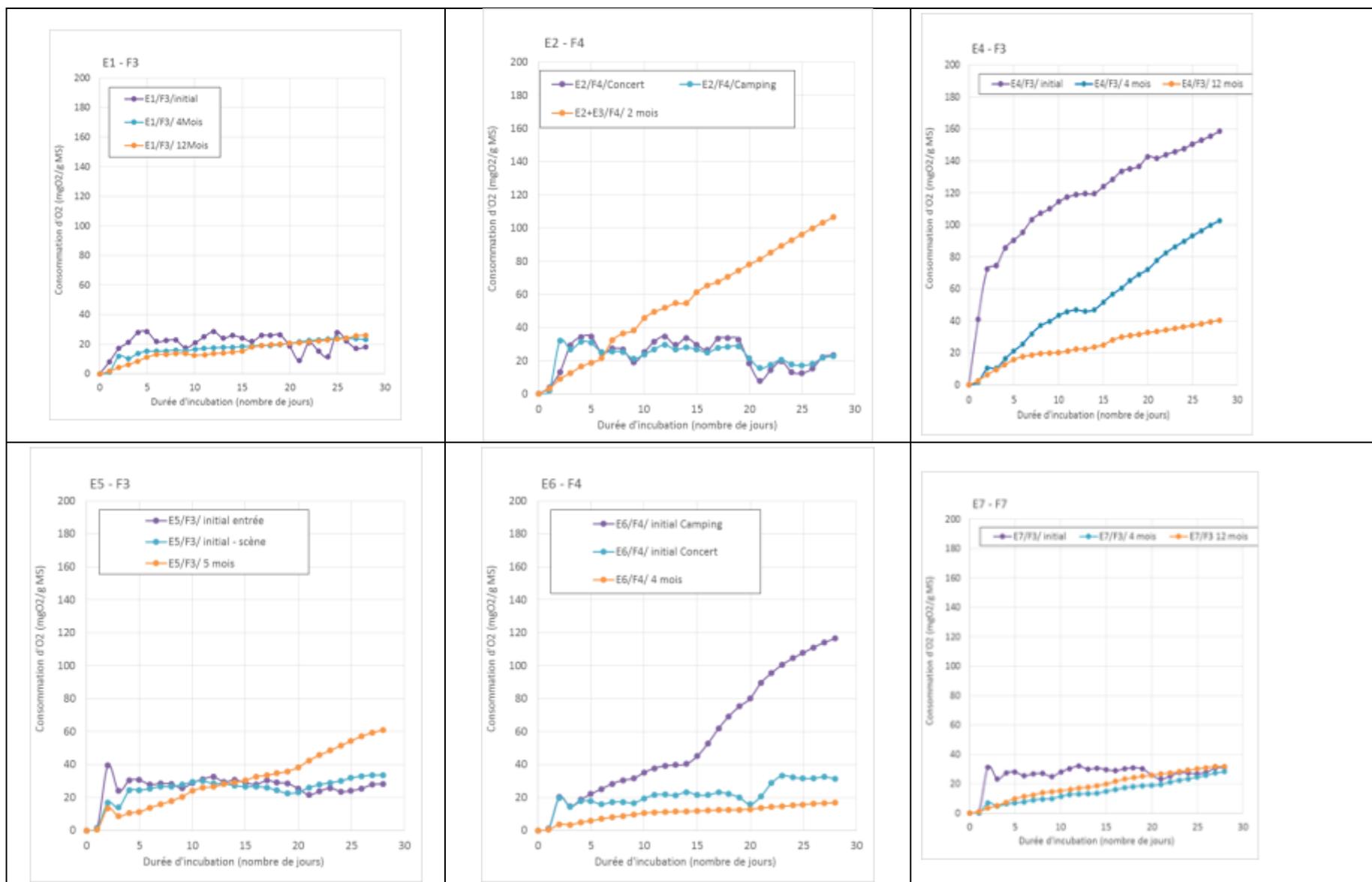


Figure 112: Activité respiratoire en conditions statique d'aération (ARS). Suivi de la consommation d'O₂ sur 28 jours d'incubation



Réalisées sur prises d'essais de l'ordre de 20 g_{MB} d'échantillon solides par jarre d'incubation, les mesures d'Activité Respiratoire en conditions Statiques d'aération (ARS) permettent d'évaluer l'activité biologique de transformation en conditions aérobie. Le suivi consiste à déterminer la baisse de pression au cours du temps d'incubation, baisse de pression directement associée à la consommation d'oxygène dans le ciel gazeux, le dioxyde de carbone produit au cours de la transformation de la matière organique étant piégé par le flacon de soude présent dans chaque jarre. La Figure 112 illustre les données calculées de consommation d'oxygène sur 28 jours d'incubation pour différents (2 ou 3) échantillons collectés sur les événements et au cours du compostage. Il faut noter qu'au cours du compostage l'humidité des échantillons évolue (Figure 116).

Globalement, les consommations d'oxygène cumulées sont toutes inférieures à 200 mg_{O₂}/g_{MS}, avec pour la plupart des échantillons, des valeurs inférieures à 40 mg_{O₂}/g_{MS}, soit des valeurs d'activité respiratoire très faibles. Des activités respiratoires faibles et irrégulières sont observées pour la plupart des échantillons bruts initiaux. Des conditions inhibitrices pourraient expliquer cette faible consommation d'oxygène : la présence d'une forte humidité dans les échantillons testés (Figure 116) est l'une des hypothèses qui pourrait largement expliquer la plupart des profils d'ARS observés en particulier sur les échantillons initiaux. Par ailleurs, les conditions alcalines et les fortes teneurs en NTK suggèrent la présence de teneurs élevées en azote minérale dans la plupart des échantillons solides, sous sa forme NH₃, susceptible d'inhiber la microflore bactérienne. Les matrices se caractérisent par des pH proches de 9 unités. Toutefois, ces conditions diminuent très nettement au cours du cycle de compostage des déchets solides.

Par ailleurs, plusieurs essais révèlent une activité respiratoire satisfaisante, bien qu'ils s'agissent d'échantillon « initiaux » : c'est le cas d'E4 et E6 « camping » où la consommation d'oxygène cumulée atteint près de 100 mg_{O₂}/g_{MS}. Une activité respiratoire élevée est observée sur certaines matrices après quelques mois de compostage. En termes de conditions de compostage, l'allure plus régulière des courbes obtenues sur les échantillons E2 et E6 (filière F4) tend à indiquer une activité respiratoire sans inhibition, pour les déchets traités en co-compostage avec déchets verts et avec des conditions d'humidité nettement plus favorable pour une bonne aération de la matière organique.

ÉVOLUTION DES ACTIVITÉS RESPIRATOIRE STATIQUES

Les données ARS sur résidus compostés mettent en évidence une inhibition d'activité respiratoire pour une grande majorité d'échantillons analysés, principalement liée à une humidité trop élevée et, dans une moindre mesure, à l'alcalinité et aux teneurs en ammoniac supposées élevées sur les résidus testés.

Les mesures d'ARS₂₈ après 12 mois de stockages ont été effectuées sur les échantillons solides de 4 événements : E1 (E1/F3/12mois), E4 (E4/F3/12mois), E5 (E5/F3/P12mois) et E7 (F7/F3/P12mois). Le suivi de la consommation d'oxygène sur les échantillons de résidus de toilettes sèches révèle des activités de consommation inférieures à 40 mg_{O₂}/g_{MS} sur les résidus après 12 mois de stockage. Par ailleurs, l'évolution régulière de consommation d'oxygène au cours des 28 jours d'incubation met en évidence l'absence d'inhibition de l'activité microbienne endogène. Cette observation du bon déroulement de l'activité respiratoire tend à indiquer que la faible consommation d'oxygène peut être associée à une bonne stabilité de la matière organique à l'issue du cycle de compostage, après 12 mois de traitement passif c'est-à-dire sans dispositif technique d'aération.

❖ Mesure des ARD

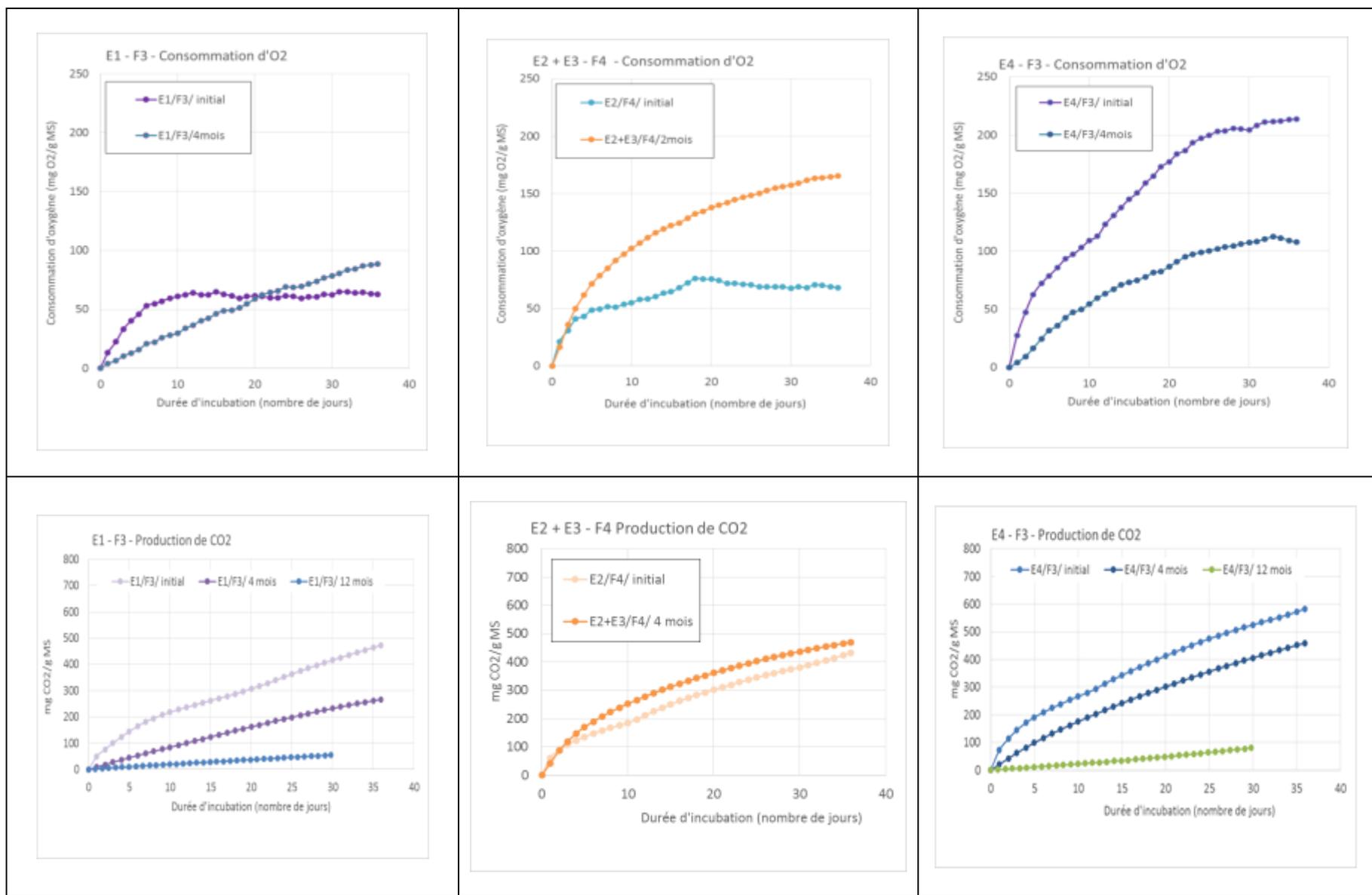


Figure 113: Activité respiratoire en conditions Dynamiques d'aération (ARD). Suivi de la consommation d'O2 et de la production de CO2 sur 28 jours d'incubation.



Tableau 36: Taux de Matière Sèche et de Cendre des échantillons analysés pour les ARD₂₈

Code éch.	%MS	%MOT	%cendres
E1/F3/PEV	11,87%	92,95%	7,05%
E1/F3/4mois	23,02%	89,96%	10,04%
E1/F3/12mois	20,74%	90,38%	9,62%
E2/F4/Concert/PEV	12,20%	94,66%	5,34%
E2+E3/F4/P2mois	65,07%	73,56%	26,44%
E4/F3/PEV	12,67%	90,07%	9,93%
E4/F3/4mois	25,52%	76,11%	23,89%
E4/F3/12mois	20,18%	86,63%	8,55%
E5/F3/Entrée/PEV	14,59%	96,62%	3,38%
E5/F3/P5mois	24,54%	97,56%	2,44%
E5/F3/P12mois	30,12%	91,45%	8,55%
E7/F3/P4mois	36,75%	48,90%	51,10%
E7/F3/P12mois	34,46%	79,85%	20,15%

Les mesures d'Activité Respiratoire en conditions Dynamiques d'aération (ARD) ont été réalisées sur 6 échantillons collectés au cours des campagnes de prélèvement. Ces essais complètent les mesures ARS par la réalisation d'un test sur un échantillon de 1 kg_{MB} avec des conditions d'aération optimisées (aération sous flux d'air contrôlé) et suivi direct de la consommation d'O₂ (activité respiratoire aérobie) et de la production de CO₂ (métabolisme de consommation de la matière organique). La Figure 113 présente les données calculées de production de CO₂ sur environ 4 semaines d'incubation pour différents (2 ou 3) échantillons collectés sur les événements et au cours du compostage.

Tout comme pour les ARS, des différences significatives sont observées sur la consommation d'oxygène des échantillons collectés sur les trois événements sélectionnés : faible activité aérobie (consommation d'O₂) sur les échantillons initiaux de E1 et E2, non observée sur E4, et bonne activité aérobie les échantillons E2+E3 (F4) et E4 (F3), tandis que cette consommation d'O₂ reste faible sur l'échantillon de E1 après 4 mois de compostage (F3). En complément, les données de suivi de la production de CO₂ montrent que, si la consommation d'O₂ est faible sur les échantillons d'E1, une forte production de CO₂ est observée. Cette différence entre la production de CO₂ et la consommation d'O₂ peut s'expliquer par la difficulté d'aérer correctement la matrice solide au cours de l'essai. Malgré la circulation de l'air au travers la matrice, les fortes teneurs en humidité des résidus solides (Tableau 36) pourraient conduire à créer des conditions défavorables au transfert de l'oxygène à l'interface des particules solides, conduisant à établir des conditions d'anoxie. Par ailleurs, les teneurs élevées en ammoniac pourraient expliquer la faible consommation d'oxygène, par un effet d'inhibition de l'activité microbienne aérobie. Toutefois, la production élevée de CO₂ tend à infirmer cette hypothèse. Cette production est liée à une forte activité microbienne, vraisemblablement de type fermentaire, avec une faible consommation d'O₂. Cette activité fermentaire ne semble pas inhibée par la présence de fortes teneurs en ammoniac dans les résidus de TS initiaux et après quelques semaines de compostage.

Les derniers essais de mesure ARD₂₈ réalisés sur les résidus solides au terme du traitement par compostage de 12 mois (Filière 3 : échantillons E1/F3/12mois, E4/F3/12mois, E5/F3/P12mois, E7/F3/P12mois) mettent en évidence la stabilisation de la matière organique au cours du compostage : une faible production de CO₂ est mise en évidence sur les 4 résidus en fin de compostage. En effet, la production de CO₂ est inférieure 100 mg/gMS. Sans toutefois être totalement stabilisée, la matière organique contenue dans les résidus est nettement moins biodégradable que celle contenue dans les résidus initiaux et ceux collectés au cours des premières semaines de compostage. Ces résultats sont en adéquation avec les données acquises avec les essais ARS₂₈ et confirme la nécessité de mettre en œuvre un cycle de compostage de longue durée, dans la mesure où l'opération de compostage est réalisée sur des résidus très humides, et dans des conditions passives d'aération c'est-à-dire sans dispositif d'injection d'air permettant d'optimiser l'aération de la matière organique.

ÉVOLUTION DES ACTIVITÉS RESPIRATOIRES DYNAMIQUES

L'ensemble des résultats confirme l'hypothèse d'une trop forte humidité des matrices, conduisant à réduire l'apport en oxygène nécessaire au développement de la flore microbienne aérobie. L'hypothèse d'une inhibition de l'activité microbienne en raison de la forte alcalinité (et présence supposée de teneur élevée en NH_3) des échantillons initiaux ne paraît que peu probable au regard des données de production de CO_2 traduisant une forte activité anaérobie au cours des essais ARD.

5.3.2. Caractéristiques physico-chimiques et agronomiques en phase solide (F3 et F4)

Dans ce paragraphe, une analyse des résultats différenciée entre les types de filière F3 et F4 est proposée pour identifier leurs impacts. Il est important de voir si les variations proviennent des types d'événement ou des filières de traitement afin de mieux cibler les préconisations (au niveau des événements ou des plates-formes).

❖ Facteur de dilution avec les déchets verts

Dans l'analyse des flux produite ci-dessus, il existe une différence de facteur de dilution des matières des filières F3 (de l'ordre de 3 volumes de déchets vert pour 1 volume de matière de TSM) et F4 (de l'ordre de 14 volumes de DV pour 1 volume de matière de TSM). Pour l'analyse sanitaire, il est important de souligner le facteur de dilution pour la filière F4 tandis que pour l'analyse agronomique, il est important de souligner le fort taux de matière de toilettes sèches pouvant inhiber le processus de compostage résultant des déchets verts.

❖ Suivi de la température

La température est un témoin de l'activité microbienne au cours du compostage. Une forte augmentation de la température peut sous l'effet de l'activité microbienne (réaction de bio-oxydation exothermique de la matière organique) mais une grande part de la chaleur 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.

Une forte augmentation de la température à partir du 1^{er} jour du compostage. Cette période d'augmentation est appelée **la phase de montée en température**. Les populations microbiennes se développent et consomment la matière organique facilement biodégradable.

Lorsque la température atteint environ 70 °C, cela entraîne une perte de chaleur par évaporation de l'eau, l'augmentation de la température ralentit. C'est **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.

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 l'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 les conditions du brassage.

Après la phase de refroidissement, le processus de biodégradation est terminé et la température baisse à un rythme lent, jusqu'à revenir au niveau de la température extérieure. C'est la **phase de maturation**, cette phase peut continuer jusqu'à l'utilisation du compost.

Il n'a pas été possible d'obtenir de relevé sur E6. Effectivement, le gestionnaire de la plate-forme de compostage privée a tout simplement refusé de transmettre cette valeur. Les composts des événements E2 et E3 ont été mélangés sur la plate-forme collective privée.

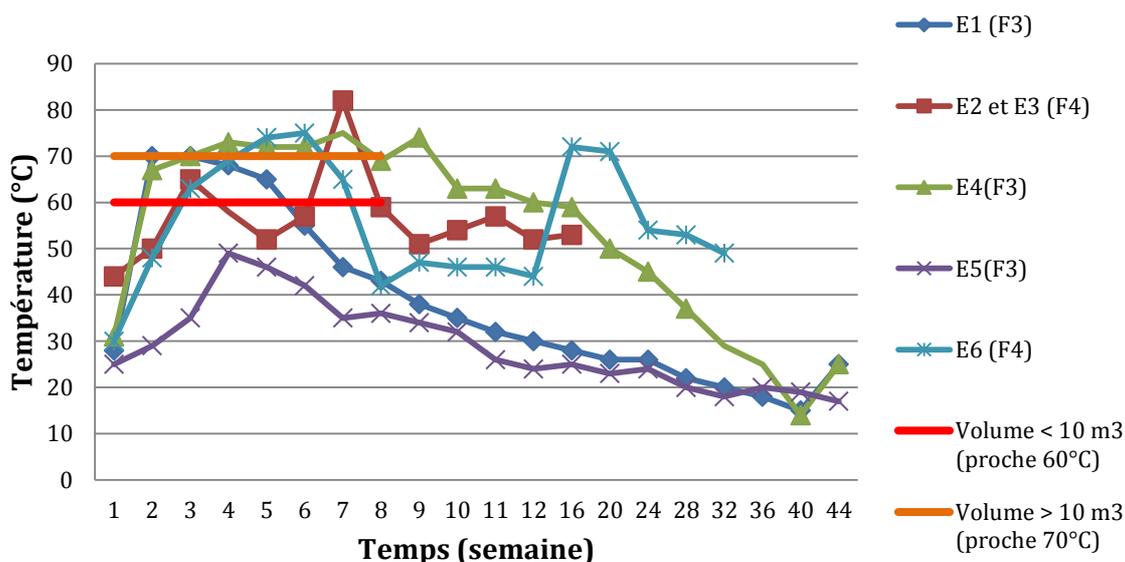


Figure 114: Suivis des températures au cours du compostage

On observe une augmentation généralisée de la température sur tous les composts. Les composts (E1, E2 et E3, E4 et E6) connaissent de fortes augmentations de température dès la 1^{ère} semaine sous effet de l'activité microbienne avec un maintien de plus de 5 semaines au-dessus de 60°C. On note ici qu'une exposition homogène pendant 4 semaines proche de 60°C (entre 55 et 65°C) [37] [45] est nécessaire pour assainir le compost. La combinaison des facteurs « température » et « durée d'exposition » est nécessaire pour assainir le compost. La durée d'exposition est directement proportionnelle à la température de 3 jours à 70°C jusqu'à 2 ans à température ambiante.

La Figure 114, présente deux niveaux de température :

- Pour les faibles volumes plus de 60°C qui est le seuil que les événements E1, E4 et E5 doivent atteindre et maintenir pendant au moins 3 jours. On constate ici qu'E5 ne respecte pas cette élévation en température,
- Pour les gros volumes plus de 70°C qui est le seuil que les événements E2+E3 et E6 doivent atteindre et maintenir pendant au moins 3 jours. Les événements suivis respectent ces seuils.

Dans le cadre de l'étude les prestataires en plate-forme individuelle ont l'obligation de pratiquer un compostage sous contraintes d'absence de retournement et de gestion de l'humidité. Des difficultés ont été observées quant aux relevés de températures pour les plates-formes individuelles qui sont de plus petites tailles mais dont la représentativité des relevés de températures est plus relative

Le ralentissement de l'activité microbienne lié à la quantité de MO dégradable, aération, humidité, etc. s'observe sur tous les composts à des temps différents. Seul le compost E2/E3 garde une activité soutenue. La chaleur obtenue par la biodégradation est alors inférieure aux pertes par l'évaporation d'eau, entraînant un refroidissement du compost. Cette phase peut être influencée par la température extérieure, le volume du compost et le nombre du brassage.

SUIVI DE LA TEMPÉRATURE DU STOCKAGE DES MATIÈRES

Sur les filières F3 et F4 de compostage individuel ou collectif :

- Hormis pour E5, les courbes de températures observées garantissent l'hygiénisation des composts. Pour les filières F3, dans le cadre de l'étude les prestataires avaient pour contrainte l'absence de gestion de la température des composts par aération (retournement),
- Pour F4, aucun impact des matières de TSM n'est observé sur ce paramètre quant au processus habituel de compostage des déchets verts.

❖ pH

Selon l'arrêté du 9 septembre 1997, les matières à composter présentent dans des limites acceptables, un pH compris entre 5 et 9 [46]. Le pH basique peut être influencé par la teneur en ammoniac présente dans le compost initial et le transfert de l'ammonium dans la biomasse microbienne durant la phase mésophile. La première phase de compostage doit voir la dégradation de la matière carbonée avec la production d'acides puis durant la phase thermophile la dégradation des acides organiques et entraîner une alcalinisation du compost avec une remontée du pH. La Figure 115 montre la bonne mise en route du processus de compostage mais le pH devrait réaugmenter pour se stabiliser vers le neutre au lieu de descendre vers un blocage acidogène qui empêche la transformation de la matière comme le montre la Figure 115. Cette acidification est trop longue (durant les 4 premiers mois) et confirme un phénomène d'inhibition de l'activité de compostage. Plusieurs hypothèses peuvent être émises : trop forte humidité, absence d'aération, mauvais équilibre C/N, etc. Au regard du suivi de l'humidité (Figure 116) et des pratiques imposés pour F3 pour l'aération, les deux premières hypothèses sont très probables pour E1, E4 et E5. La situation est meilleure pour F4.

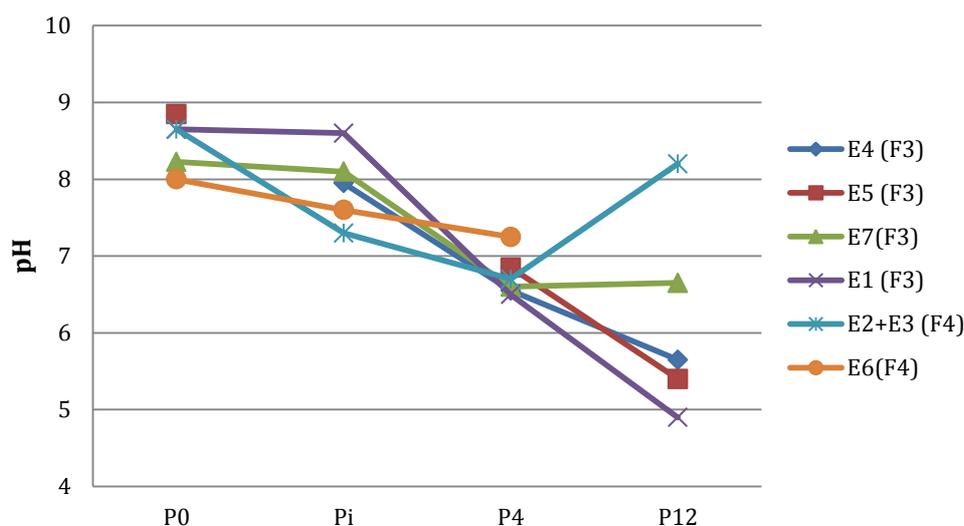


Figure 115: L'évolution de pH des matières brutes de F3 et F4

❖ 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%, ces valeurs sont élevées pour permettre un bon compostage (Figure 34). On observe une diminution systématique avec l'ajout des déchets verts (Pi) puis au cours des 4 premiers mois de compostage. Les sites avec des plates-formes collectives semblent mieux réguler l'humidité pour favoriser les conditions de compostage. Le facteur de dilution avec les déchets verts semble jouer un rôle significatif.

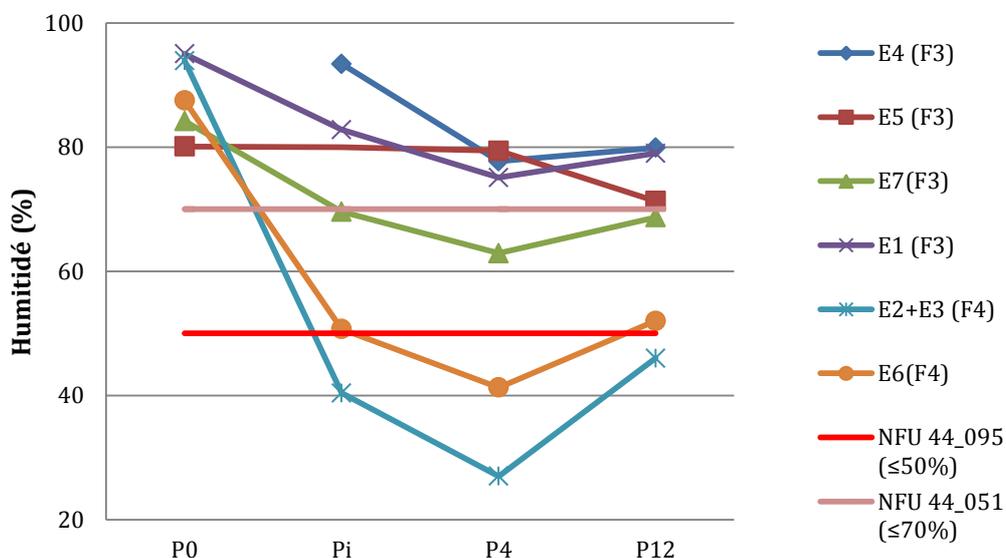


Figure 116: Évolution de l'Humidité



Les résultats obtenus pour E2/E3 et E6 respectent la norme NF U44-095 ($\leq 50\%$) à partir de P₄. Pour les autres événements, 4 mois du compostage ne sont pas suffisants 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 à la quantité de déchets verts ajoutée pour les filières F4. Les forts taux d'humidité observés en F3 (certainement dus à l'ajout des urines de F1 ou F2) peuvent être considérés comme défavorables à l'aération passive de la matière au cours du compostage. Une augmentation de l'ajout des DV et de la fréquence de brassages est fortement conseillée. Si le tas est trop humide, le processus de compostage est plus lent et la montée en température moindre. En pratique [47], il est conseillé de commencer le tas avec une humidité de 40% à 60% pour atteindre à la fin du processus, une humidité de 30%.

ÉVOLUTION DE L'HUMIDITÉ DES COMPOSTS

- Les composts sont trop humides en F3. Il est conseillé d'augmenter le taux de DV et la fréquence de brassages des matières. Éventuellement un traitement différé de F1 ou F2 peut être appliqué en gardant des urines pour ajuster l'humidité au besoin.
- Le taux d'humidité en F4 est géré dans le respect des normes, les matières de TSM ne semblent pas avoir d'impact sur les composts.

❖ NTK

Selon la Figure 117, les teneurs en NTK sont relativement faibles tout au long du processus, à l'exception des matières d'E2+E3. Après avoir ajouté les DV sur la plate-forme collective, la teneur en NTK du compost a augmenté de façon très significative. Cela peut s'expliquer par le type de déchet vert ajouté : litière de volaille. Il est possible de dire que la mesure de NTK pour E2+E3 correspond plus à la mesure de NTK des déchets verts. Sur les autres sites, les teneurs en azote des composts restent homogènes tout au long du processus de compostage de 2 à 5 g/kg MB. La dégradation de l'urée semble donc être efficace (malheureusement la teneur en azote ammoniacal n'a pas été suivie). À titre de comparaison les composts de biodéchets domestiques présentent une teneur en NTK de 20g/Kg de MB et surtout les valeurs obtenues respectent la NF-U44-095 (supérieur ou égale à 20% M.B.)⁴⁴

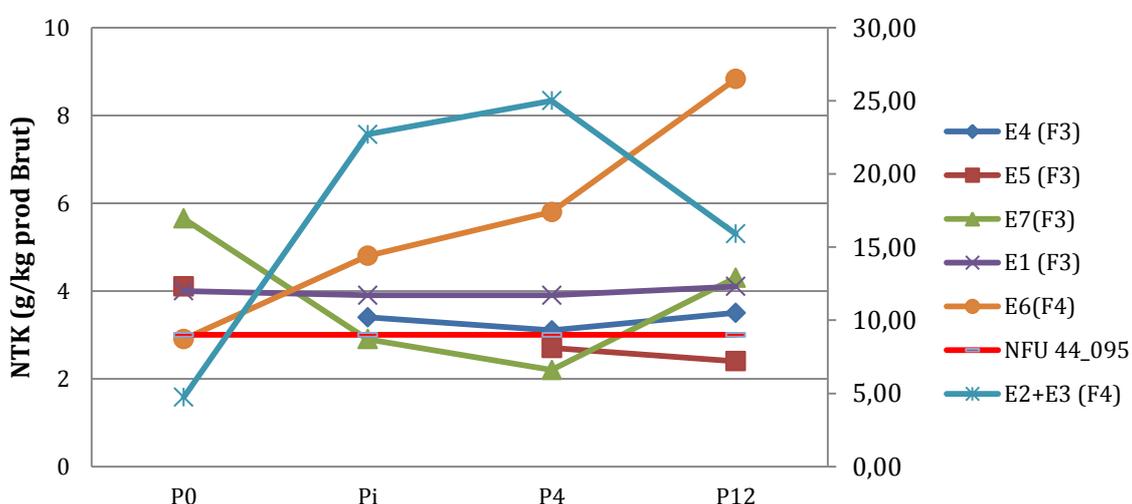


Figure 117: L'évolution de NTK des M.B. de F3 et F4 (valeurs d'E2+E3 issues des ordonnées de droite)

Selon la bibliographie [37], concernant l'utilisation de l'azote de l'urine aux champs, l'urée n'est pas assimilée directement par la racine des plantes en quantité importante. Il a été d'abord hydrolysé en ammonium sous l'action des micro-organismes. 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

• ⁴⁴ NF U44-051 n'a pas de valeur limite de NTK ni sur le carbone

dernier, il est possible d'observer des pertes d'azote par volatilisation d'ammoniac. Ce phénomène est influencé par des températures élevées (en été).

❖ Matière organique

Sur la Figure 118, l'ajout des DV engendre une augmentation de la MO. En revanche, le taux de MO est quasi identique (environ 20%) sur tous les sites au 4^{ème} mois (P4). L'influence de la dilution sur les plates-formes privées (14/1) n'est pas négligeable en particulier pour E2+E3 pour qui les DV sont des litières de volaille ainsi il semblerait que la mesure de la MO correspond à la mesure de la MO des déchets verts. Les résultats obtenus sur le produit final respectent la NF U44-051 et NF U44-095 (supérieur à 20%).

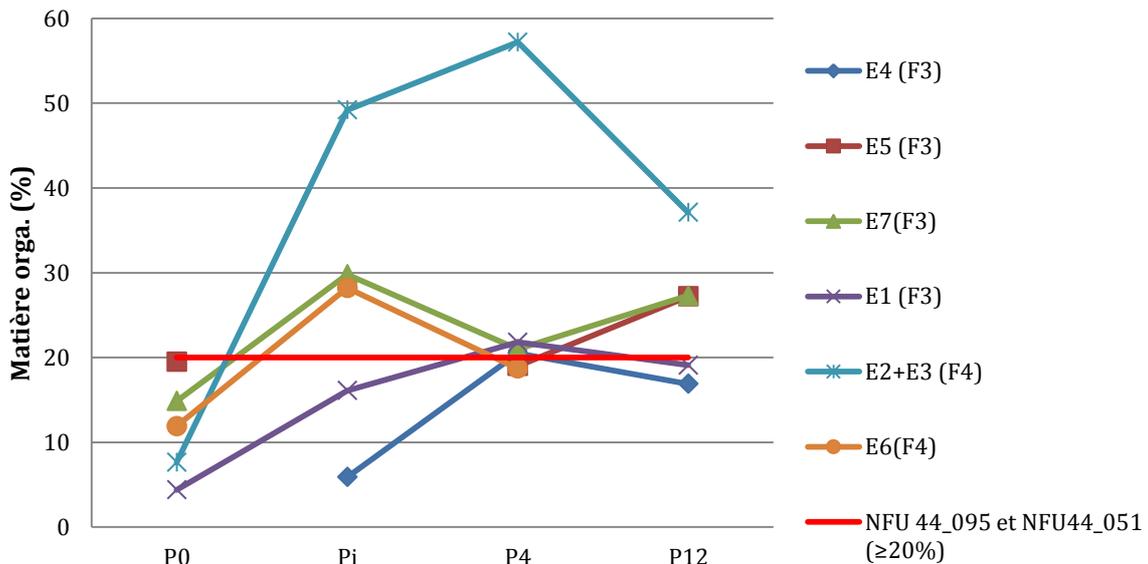


Figure 118: Comparaison de l'évolution du taux de MO des M.B.

❖ Carbone

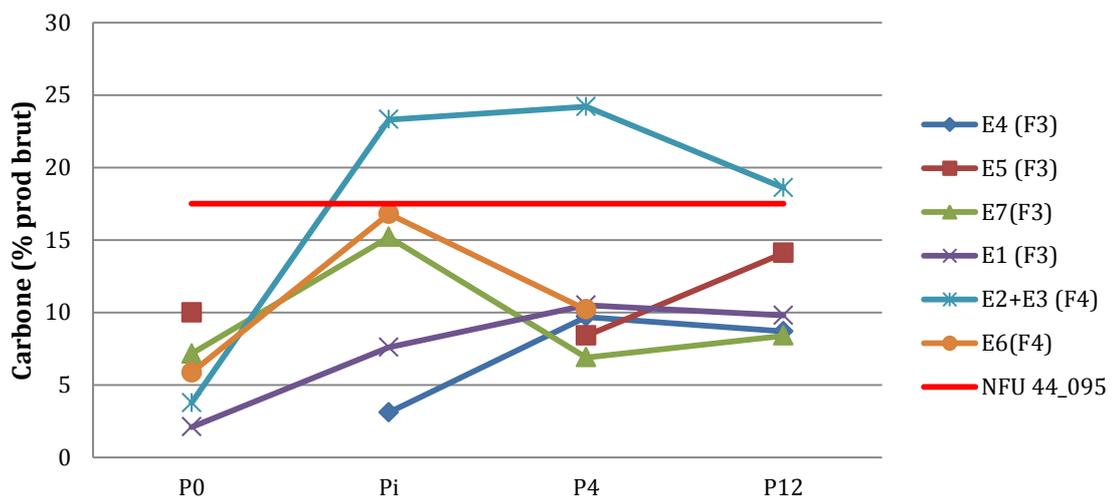


Figure 119: Comparaison de l'évolution de carbone des M.B.

On observe sur la Figure 119: Comparaison de l'évolution de carbone des M.B. 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 (O₂, humidité, température...) en produisant du CO₂. Pour un compost stable, le ratio MO/C est autour de 1.5 à 2. Selon la Figure 120 sur l'ensemble des sites, ce ratio est un peu plus élevé, ce qui signifie que les MO ne sont pas assez biodégradés jusqu'au 4^{ème} mois. Quel que soit les filières, à 12 mois le compost se stabilise. Seul E7 présente encore un compost trop riche en MO. Il est possible d'émettre une hypothèse que les DV ajoutés (résidus de taille et de tonte) et le brassage associé au mois-4 (peu avant le P4mois) ait relancé le processus de compostage.

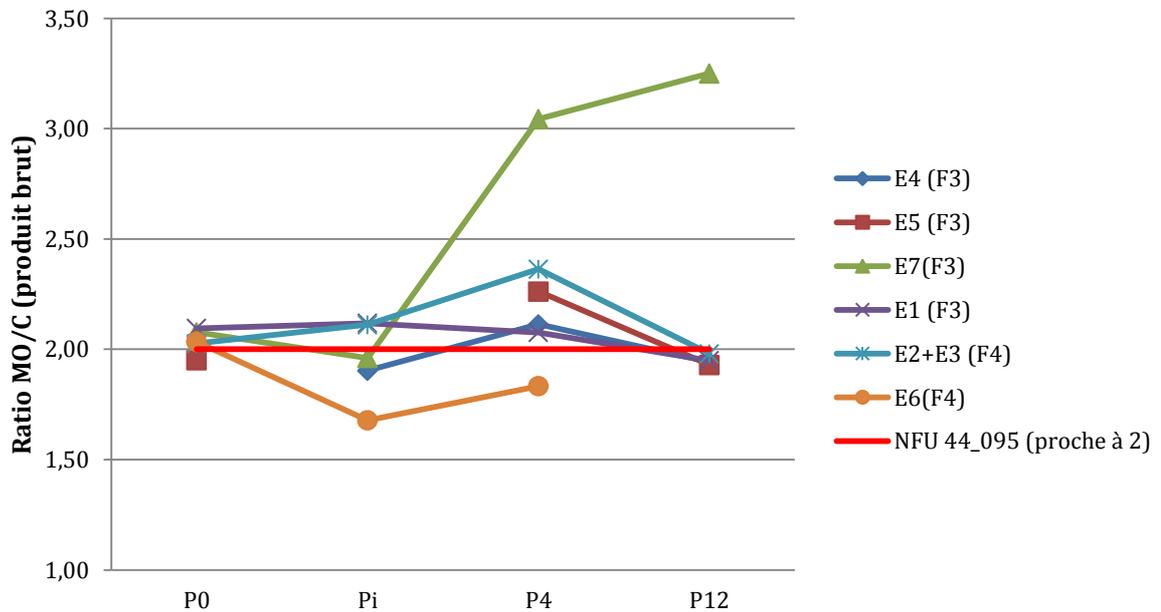


Figure 120: L'évolution du rapport MO/C

❖ Ratio C/N

Un bon rapport C/N est généralement compris entre 20 et 30 en fin de compostage, ce qui permet d'assurer une bonne circulation d'air et la croissance des bactéries [47]. 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. Selon la Figure 121, quatre mois plus tard, les ratios C/N de E1, E4 et E7 sont au même niveau. Concernant E7, la perturbation observée sur la Figure 120 se retranscrit également ici sur la Figure 121, ce qui s'explique notamment par l'ajout de tailles de jardin chargées en carbone pour E5 et de tonte (riches en azote) pour E7. Le ratio C/N d'E2+E3 et E6 sont 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.).**

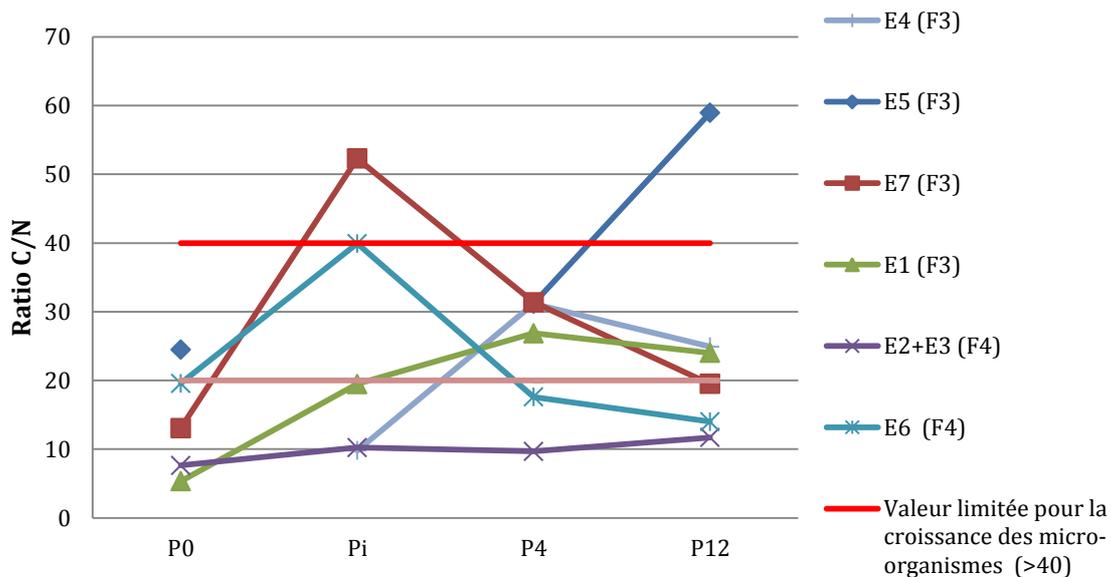


Figure 121: Évolution des ratios C/N

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-utilisation 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.

ÉVOLUTION AGRONOMIQUE

- Les composts sont trop humides en F3. Il est conseillé d'augmenter le taux de DV et les brassages des matières. Éventuellement un traitement différencié de F1 ou F2 peut être appliqué en gardant des urines pour ajuster l'humidité au besoin.
- Pour F3, la gestion des matières par simple stockage ne semble pas suffisante. En particulier, la gestion de l'humidité paraît défaillante (trop humide) ce qui altère la dégradation de la MO (trop lente) et donne au bout d'un an des composts pouvant ne pas respecter la norme NF U44-051 sur les ratios C/N et MO/C. Pour y remédier de simples mesures de gestion peuvent être mise en œuvre (retournement du tas et ajout de DV).
- Pour F4, l'introduction de matières de TSM n'altère pas le fonctionnement des composts de DV sur les paramètres suivis dans le respect des normes (NF U44-051 en particulier).

5.3.3. Caractéristiques microbiologiques en phase solide (F3 et F4)

Il est à noter que toutes les analyses (12) d'hépatite A réalisées sur la phase solide ont été négatives. De même, les analyses de parasitologie (17) réalisées sur les œufs d'helminthes n'ont montrée aucune présence. Les salmonella sont également absentes de toutes les analyses réalisées (13) aux différents maillons (collecte et traitement) de la filière d'assainissement. Ces éléments respectent les normes NF U44-095 et NF U44-051 en matière de valorisation sur des cultures maraichères.

Pour la filière F4, il n'a pas été possible de collecter des échantillons sur les plates-formes (pour E2+E3 et E6) au-delà de 4 mois.

❖ Moisissures sur la matière carbonée employée

Tableau 37: Niveaux de présence d'Aspergillus dans les MC employées (par sous-espèces)

Prestataire	Type de Matière Carbonée	Identification des Aspergillus		
		Fumigatus	Glaucus	Niger
E1+E4	Paille	50/g	3000/g	-
	Sciure/Copeaux	10/g	300/g	-
E2+E3	Copeaux	800/g	-	-

E5+E7	Copeaux	200/g	-	100/g
E6	Sciure/Copeaux	-	-	1000/g

L'agent le plus « dangereux » est l'espèce *Aspergillus fumigatus* et dans une moindre mesure l'espèce *Aspergillus Niger*, c'est un agent opportuniste : habituellement non pathogène, il peut provoquer une maladie chez une personne dont les défenses immunitaires sont très affaiblies et dont l'exposition est quotidienne. *Aspergillus fumigatus* est classé dans le groupe de danger 2 (R. 231-61-1 du code du travail). Il convient de souligner ici que les agents de TSM sont employés selon le droit du travail français avec une visite médicale devant permettre de diagnostiquer des symptômes à risque.

La concentration sur un substrat solide en *Aspergillus* n'engendre pas de risques si la personne exposée n'est pas une personne immunodéprimée. Aucune réglementation ou norme (INRS, ANSES) n'existe en France sur le sujet alors que les milieux les plus exposés sont les plates-formes de compostage collectif et le secteur agricole. À titre de comparaison de le Tableau 37, selon le Laboratoire de Parasitologie-Mycologie du CHU de Besançon, les *Aspergillus* retrouvés dans les foin, pailles et farines de céréales pour le bétail par gramme de substrat sont en moyenne respectivement de 1 à 10^{E+3} pour *Aspergillus fumigatus* et *Aspergillus niger* et de 1 à 350^{E+3} pour *Aspergillus glaucus*. Ces références n'ont pas de valeur statistique, ni en termes de concentration, ni en termes de fréquence mais permettent juste d'illustrer les niveaux de concentration rencontré assez couramment dans les produits agricoles.

Les concentrations rencontrées sont de l'ordre de grandeur de celles présentent dans le foin sec qui est régulièrement manipulé par des agriculteurs (ces derniers portant peu d'EPI). Il s'agit donc d'éviter l'exposition de personnes immunodéprimée à la manutention de la matière carbonée utilisée dans les TSM. Les usagers ne sont pas concernés dans ces manipulations.

Ainsi, les spores de *Aspergillus fumigatus* sont susceptibles d'être inhalées lors des opérations de manipulation du produit fini et de la matière carbonée lors de la collecte. Les conditions sont identiques à celles des unités de compostage pour les professionnels (ou pour les particuliers pour les composts domestiques).

❖ Impact des déchets verts sur la microbiologie du compost

Les paramètres microbiologiques (*E.coli*, Entérocoques, ASR et *C. perfringens*) des matières de TSM et de déchets verts (DV) ont été comparés.

Les Figures 40 à 45 montrent les taux des indicateurs microbiologiques des matières de TSM, des DV et du mélange des deux (P_i).

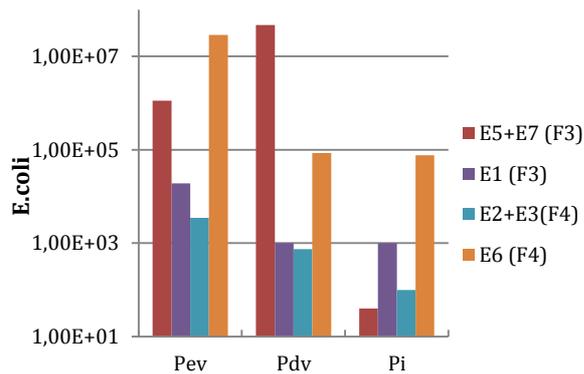


Figure 122: Comparaison des concentrations en *E. coli* (matières fraîches, déchets verts et mélange des 2)

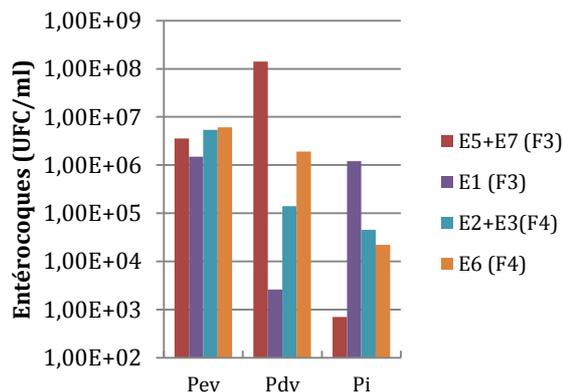


Figure 123: Comparaison des concentrations en Entérocoques (matières fraîches, déchets verts et mélange des 2)

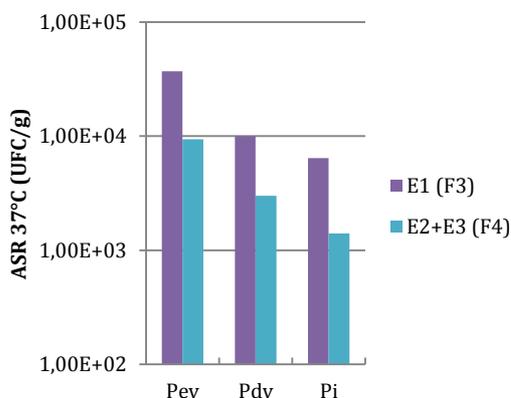


Figure 124: Comparaison des concentrations en ASR 37°C (UFC/g) (matières fraîches, déchets verts et mélange des 2)

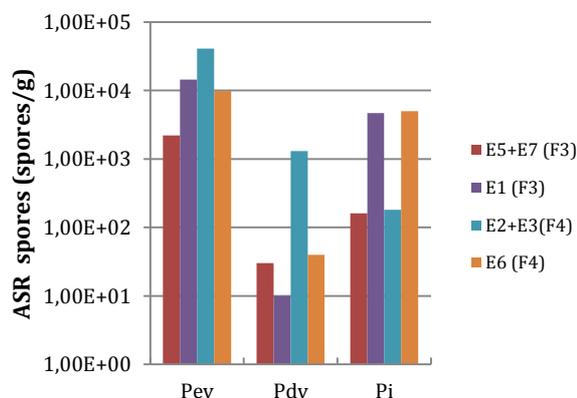


Figure 125: Comparaison des concentrations en ASR 37°C (spores/g) (matières fraîches, déchets verts et mélange des 2)

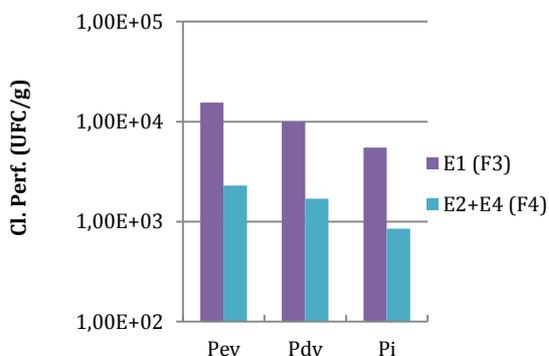


Figure 126: Comparaison des concentrations en *C. perfringens*. (UFC/g) (matières fraîches, déchets verts et mélange des 2)

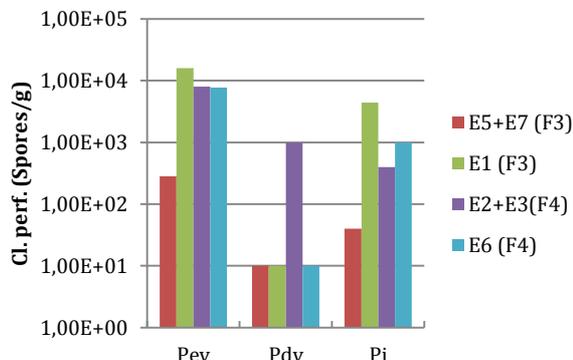


Figure 127: Comparaison des concentrations en *C. perfringens* (spores/g) (matières fraîches, déchets verts et mélange des 2)

Le premier constat est que les DV sont tous chargés en *E. coli*, Entérocoques et ASR. En particulier, pour les DV utilisés en F4 pour E2+E3 qui sont des litières de volaille, cette situation est normale. Les taux observés pour les DV ont tendance à être généralement plus faible que pour les matières de TSM. Concernant les ASR (UFC) plusieurs résultats n'ont pas pu être interprétés. Globalement, un faible impact de la dilution des matières de TSM dans les DV (qui aurait pu être facilement observable en comparant les filières F3 et F4) est observable. La différence majeure de caractérisation est que les matières de TSM sont plus chargées en ASR que les DV.

❖ *E. coli*

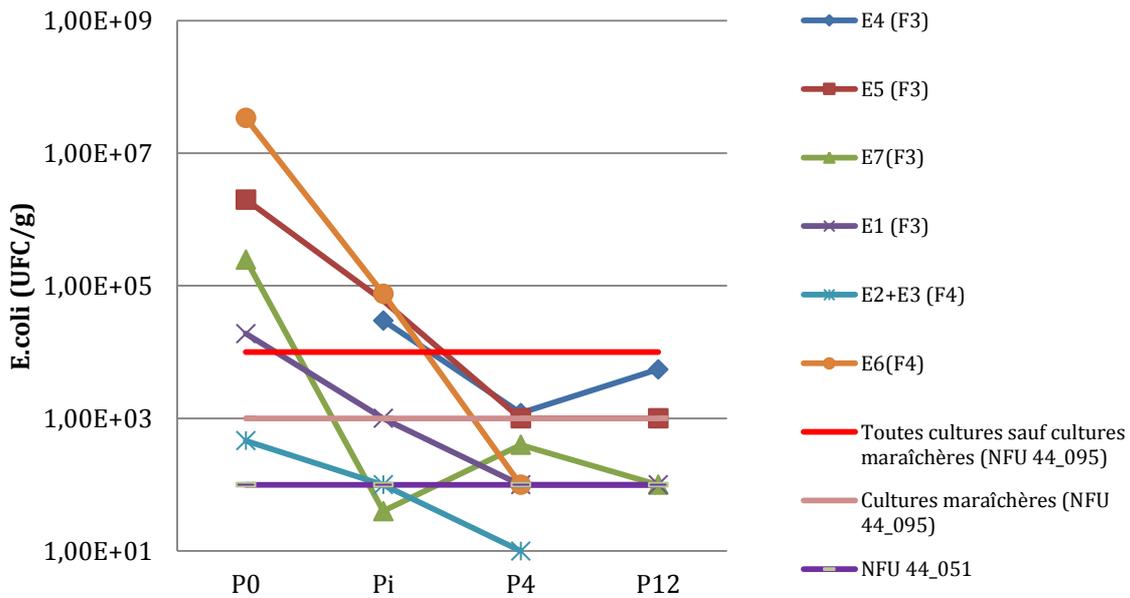


Figure 128 : Évolution d'E.coli pour F3 et F4

La Figure 128 montre une décroissance générale des colonies d'E. coli d'environ 2 à 3 logs dans les 4 premiers mois de traitement, un milieu défavorable à son développement a été créé. Le facteur de dilution entre P0 et Pi est à prendre en considération pour E6 (3 log) mais il n'est pas ou peu observable pour E2+E3 (0.25 log, non significatif). Ensuite entre Pi et P4, la montée en température de la matière a participé à poursuivre l'abattement.

Pour ce paramètre quel que soit la filière en 4 mois les abattements relatifs au produit final de la norme NF U44_095 sont atteints pour les cultures non maraîchères. Les abattements prévus pour les produits finaux de la NF U44_051 paraissent plus difficiles à atteindre pour la filière F3 en ce qui concernant les cultures maraîchères. Sur ce paramètre pour la filière F4, les analyses sur les produits finaux montrent que la norme NF U44-051 est respectée.

❖ Entérocoques

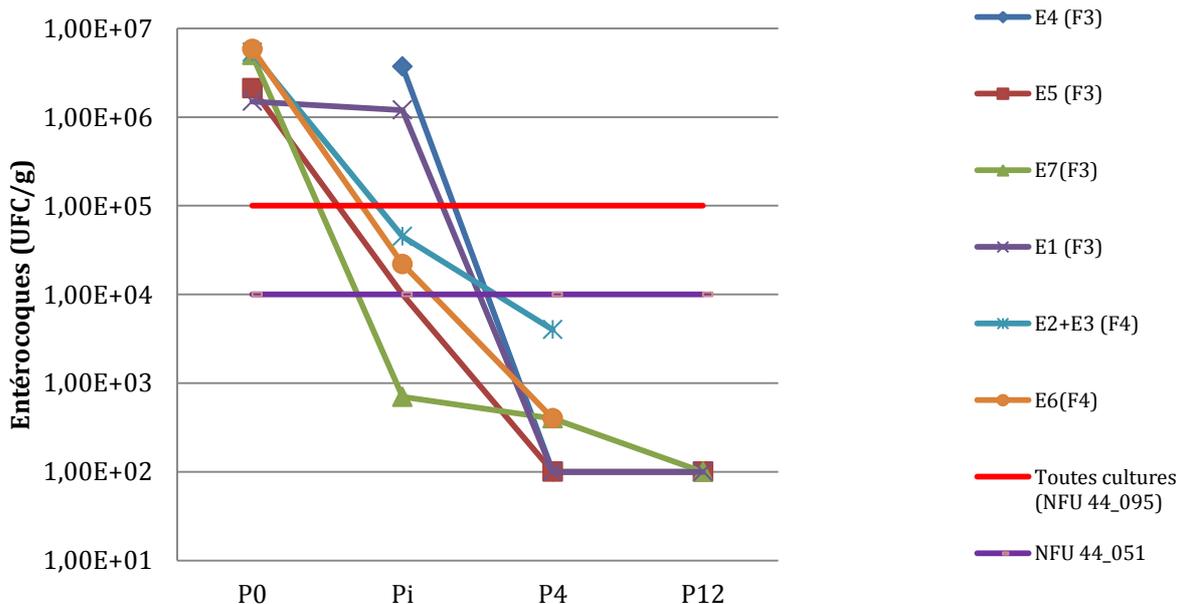


Figure 129 : Évolution d'Entérocoque pour F3 et F4

L'interprétation de la Figure 129 pour les entérocoques est très proche avec des abattements beaucoup plus significatifs. 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 entre P₀ et P_i. 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, quel que soit la filière F3 ou F4, en 4 mois les seuils d'abattements sont atteints pour la norme NF U44-051 quel que soit les cultures envisagées pour tous les événements.

❖ *C. perfringens*

Le nombre de colonies de *C. perfringens* a tendance à diminuer sur l'ensemble des sites.

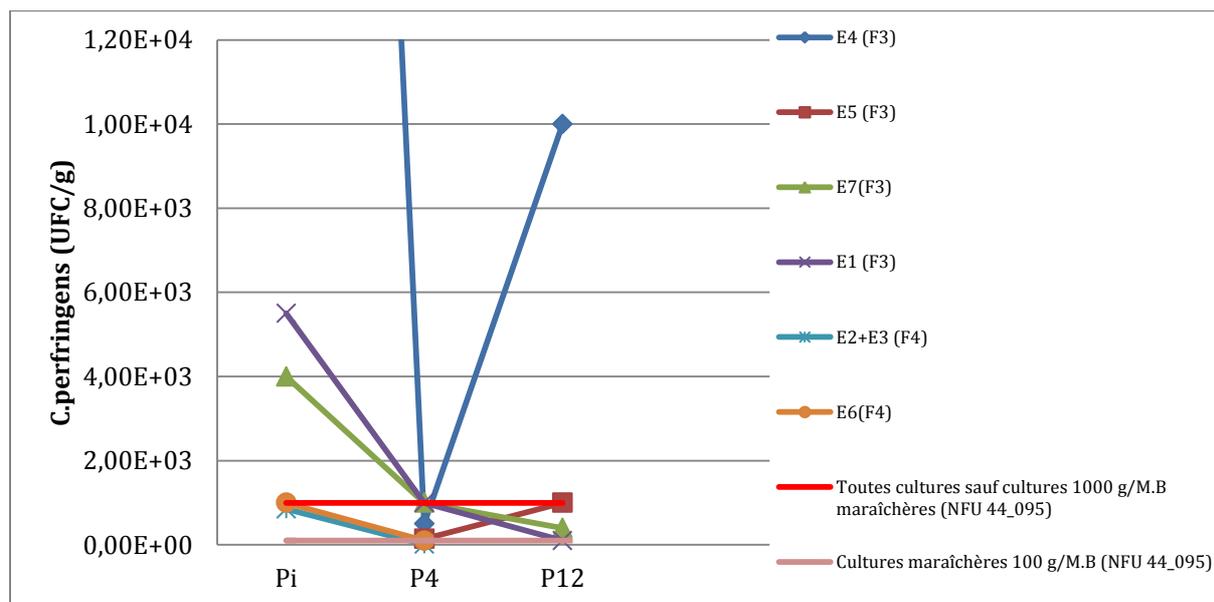


Figure 130: Évolution de *C. perfringens* (UFC/g) de F3 et F4

Selon la Figure 130, les colonies de *C. perfringens* ont une tendance globale à la diminution durant les 4 mois de traitement.

Il est important de souligner qu'au bout de 4 mois de traitement, les abattements sont suffisants pour respecter un épandage sur cultures non maraichères. Cependant pour la filière F3 et l'événement E4, la croissance des colonies de *C. perfringens* entre P4 et P12 souligne soit un problème d'échantillonnage, soit des conditions favorables à une multiplication des germes soit les 2. Cette augmentation peut s'expliquer par un biais dans le respect du protocole d'échantillonnage. Les quartations ont été réalisées en l'absence de bâche désinfectée couvrant le sol. Le contact des matières avec le sol les auraient recontaminées.

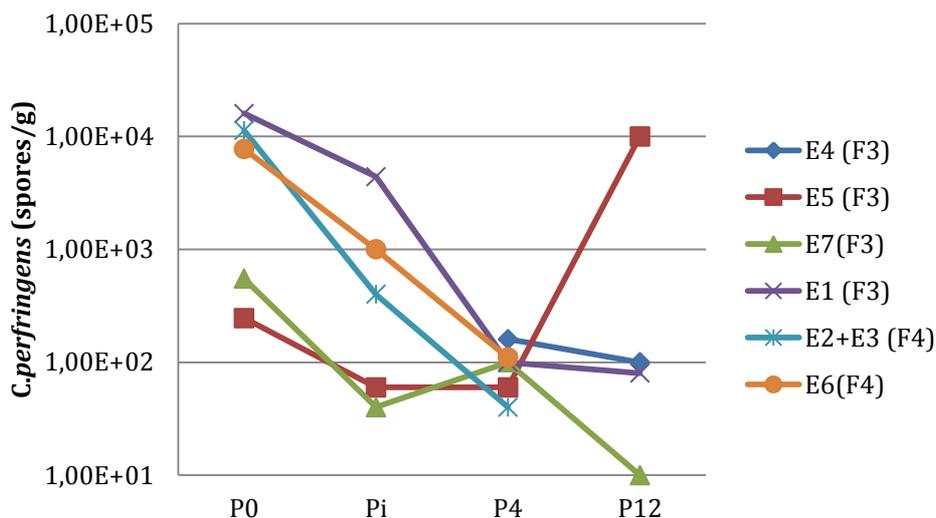


Figure 131: Évolution de *C. perfringens* (spores/g) de F3 et F4

Bien qu'il n'existe pas de seuil dans les normes sur la forme sporulée, il y a des abattements conséquents de l'ordre de 2 log. Pour E7, on observe une ré-augmentation de nombre de spores de Pi à P4, qui n'est pas significative au regard de la sensibilité des analyses culturales et des incertitudes. Cette remarque est également valable de manière plus significative (augmentation de 2 log) pour E5 entre P4 et P12. L'hypothèse qui pourrait être émise serait une contamination du matériel (ou de la matière) de prélèvement du fait de la présence de fèces encore moulées lors de la quartation ou un problème d'échantillonnage.

Le processus de compostage mis en place tant en F3 que F4 est défavorable au maintien des colonies de *C. perfringens* dans le milieu mais l'issue est plus incertaine concernant les spores comme le montre la Figure 131.

❖ ASR 37°C

Les formes végétatives (Figure 132) et les spores d'ASR à 37°C diminuent avec le temps sur l'ensemble des sites avec un taux d'abattement variable de 2 à 0,5 logs sur 4 mois.

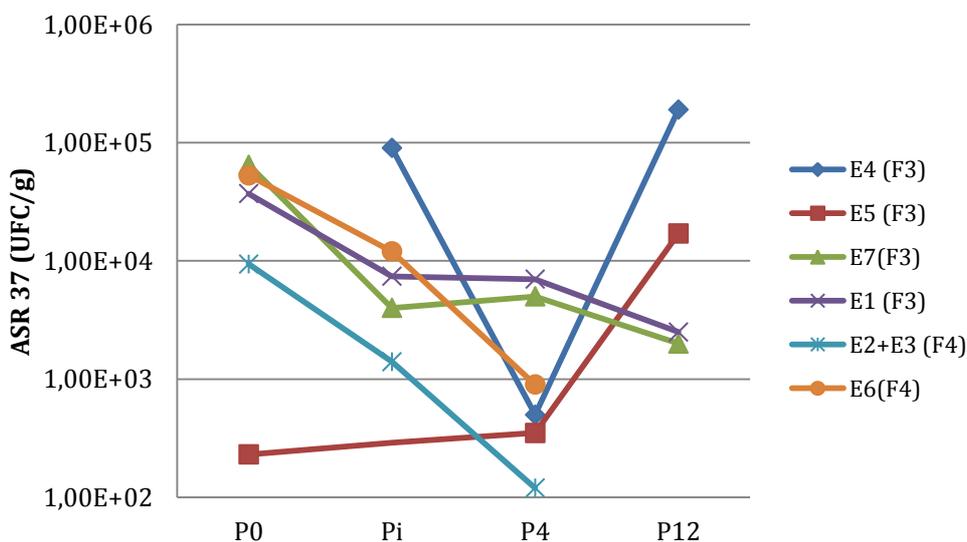


Figure 132: Évolution des ASR 37°C (UFC/g) de F1 et F2

Selon la Figure 133, le nombre de spores est assez variable, surtout celui de E4 avec une augmentation 4 mois après l'ajout des DV. On constate une similarité avec *C. perfringens* sur cet échantillon. L'hypothèse la plus probable est que lors de l'échantillonnage une « poche » d'excrétas protégée ait été prélevée, il s'agirait d'un biais d'échantillonnage

Les conditions de compostage tant pour F3 que pour F4 (sans distinguo clair) ne sont pas totalement défavorables aux ASR 37 (cas d'E4 et d'E5). On note ici qu'il s'agit de l'événement (E5) sur lequel la montée en température a été plus faible ce qui souligne des conditions favorable à la montée bactérienne.

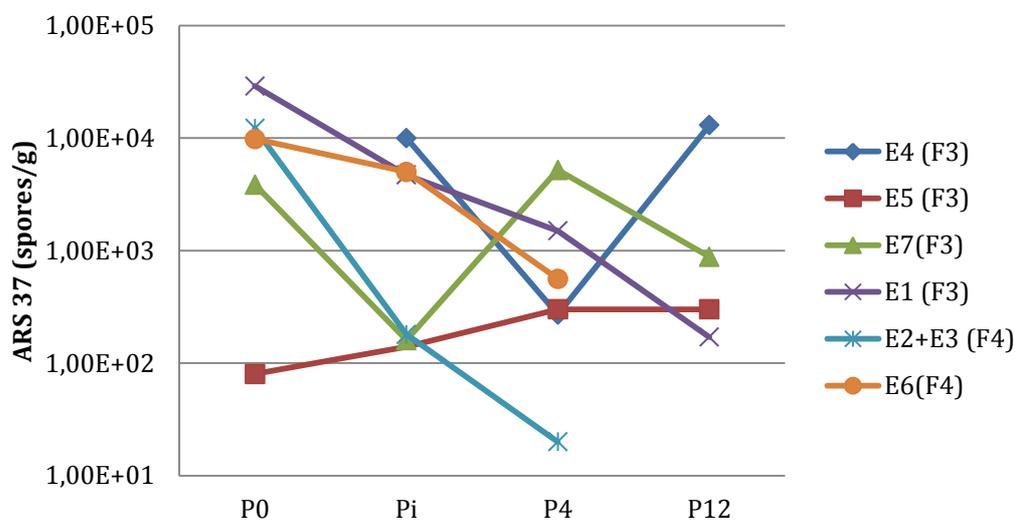


Figure 133: Évolution des ASR 37°C (spore/g) de F3 et F4

SUIVI MICROBIOLOGIQUE DES MATIÈRES SOLIDES (F3 ET F4)

Sur ces filières F3 et F4, les analyses microbiologiques soulignent que :

- Aux maillons collecte et transport : les matières fraîches présentent des *E. coli*, Entérocoques, *C. perfringens* et ASR. Ces indicateurs ne permettent pas d'évaluer le risque pour les manutentionnaires. Par contre on constate une absence généralisée d'hépatite A et d'œufs d'helminthes dans les prélèvements réalisés, donc sur les événements suivis il semblerait que les usagers ne présentent pas de contamination particulière. L'absence de pathogènes comme l'hépatite A et *Salmonella* dès le premier maillon de la filière ne permet pas de souligner un danger particulier auprès des manutentionnaires de contamination oro-fécale (dans le respect de la norme NF U44-095).

- Au maillon traitement : l'ajout de déchets verts ne joue pas un rôle de dilution des indicateurs microbiologiques suivis. Ces indicateurs (*E. coli*, Entérocoques, *C. perfringens*, ASR) sont abattus sur une durée de 8 mois (F4) et d'un an (F3) avec l'action de la montée en température. Il est possible de conclure que le processus de compostage joue un rôle hygiénisant principalement par sa montée en température. Pour F3, la garantie de l'hygiénisation totale des matières en 12 mois par stockage est plus difficile à conclure. La norme NF U44-051 est respectée sur les plates-formes collectives F4.

5.4. Analyse de la présence de stupéfiants

Ce volet de l'étude est réalisé par le laboratoire DEEP de l'INSA-Lyon avec la collaboration du laboratoire Lat Lumtox. Les analyses portant sur la phase solide de compost à 1 an de traitement (F3) seront disponibles à la fin de l'année 2016. Le développement des méthodes d'analyse des stupéfiants est basé sur le travail réalisé dans le cadre des stages de Master d'Arnaud Koanda [48] et d'Antinéa Airieau [49]. Nous avons en particulier recherché les conditions optimales d'extraction adaptées aux matrices solides et liquides étudiées. Les molécules recherchées sont listées dans le Tableau 38. La technique chromatographique GC-MS/MS d'analyse des extraits est un compromis de paramètres chromatographiques optimal pour l'ensemble des molécules étudiées.

L'analyse des stupéfiants est généralement réalisée sur les liquides physiologiques (urine et sang). Ne disposant pas d'échantillon TS de référence, l'évaluation de la méthode d'extraction et la limite de quantification a été réalisée sur phase liquide : sang + cocktail de molécules stupéfiantes (+ étalons internes) additionné pour atteindre trois gammes de concentration (100, 50 et 20 ng.mL⁻¹) et évaluer la limite de détection de l'ensemble de la techniques d'analyse (extraction et quantification).

Enfin, la technique d'analyse utilisée est dite semi-quantitative car la quantification des molécules stupéfiantes sélectionnées (cf Tableau 38) est basée sur une gamme d'un seul point. Cette semi-quantification est suffisante

étant donné que l'on ne cherche pas à quantifier de façon précise mais à savoir quelles molécules sont présentes et à comparer les concentrations entre deux prélèvements.

Tableau 38: Liste et classes des molécules stupéfiantes étudiées

Classes de molécules	Molécules	Transitions de quantification
Amphétamines	Amphétamine Ac	118 → 103 _ 20 eV
	Méthamphétamine Ac	191 → 74 _ 10 eV
	PMA Ac	121 → 78 _ 20 eV
	PMMA Ac	148 → 105 _ 20 eV
	MDA Ac	221 → 162 _ 3 eV
	MDMA Ac	235 → 162 _ 3 eV
	<i>Amphétamine Ac-d5</i>	123 → 96 _ 20 eV
	<i>Méthamphétamine Ac-d5</i>	196 → 104 _ 5 eV
	<i>MDA Ac-d5</i>	226 → 166.5 _ 3 eV
	<i>MDMA Ac-d5</i>	240 → 163.5 _ 3 eV
Phényléthylamine	2C-P Ac	206 → 177 _ 10 eV
	25i-NBoMe	247 → 77 _ 20 eV
	Ethylphénidate	244 → 126 _ 5 eV
Cocaïnes	Cocaïne	303 → 82 _ 5 eV
	BZE (benzoylecgonine)	124.1 → 77 _ 15 eV
	EME Ac (ecgonine méthylester)	182 → 82 _ 20 eV
	<i>Cocaïne-d3</i>	185 → 153 _ 10 eV
Opiacés	Morphine 2Ac	369 → 327 _ 10 eV
	Codéine Ac	204 → 162 _ 20 eV
	Dextrométorphan	271 → 150 _ 30 eV
	<i>Codéine Ac-d3</i>	344 → 232 _ 20 eV
	<i>Morphine 2Ac-d3</i>	372 → 329 _ 10 eV
Cathinones (nouvelles drogues de synthèse)	Méphédronne Ac (=4méthylmethcathinone)	219 → 100 _ 2 eV
	4-MEC (=4méthylethcathinone)	114 → 72 _ 10 eV
	Butylone Ac	263 → 72 _ 10 eV
	Méthylone Ac	249 → 58 _ 10 eV
	MDPV (méthylènedioxyppyvalérone)	126 → 84 _ 20 eV
	<i>Méphédronne Ac-d3</i>	222 → 103 _ 2 eV
Cannabinoïdes de synthèse	<i>MDPV-d8</i>	134 → 92 _ 20 eV
	JWH-073	326 → 270 _ 20 eV
Cyclohexamine	UR-144	214 → 144 _ 10 eV
	MXE (métoxétamine)	219 → 190 _ 20 eV
Pipérazine	Kétamine Ac	216.2 → 56 _ 20 eV
	<i>Kétamine Ac-d4</i>	220 → 56 _ 20 eV
Pipérazine	mCPP (m-chlorophénylpipérazine)	166 → 138 _ 10 eV
Tryptamine	DMT (N,N-diméthyltryptamine)	<i>d</i> → 51 _ 20 eV

d = molécules deutérées

Ac = molécules acétylées

- Limite de détection

Toutes les molécules sont identifiables en analyse qualitative à des concentrations de 100 et 50 ng/mL. A 20 ng/mL, il a été observé que certaines molécules avaient un fort signal sur bruit et un pic faible. Leur limite de détection est fixée à 20 ng/mL. D'autres étaient encore visibles et certaines nettement identifiables même à des concentrations encore bien inférieures.

On obtient de ces expériences la limite de détection de chacune des molécules étudiées. Les valeurs sont indiquées dans les Tableau 39 et Tableau 33.

Tableau 39: Limites de détection des stupéfiants étudiés

Limite de détection (LD)	< < 20ng/L	< 20ng/mL	> ou = 20ng/mL
Molécules	Méphédronne Méthylone MDA MDMA	PMA 4-MEC Butylone	Méthamphétamine PMMA

	MDPV Kétamine Cocaïne Codéine	mCPP MXE Dextrométorphane	Ethylphénidate EME Morphine
--	--	---------------------------------	-----------------------------------

- **Analyse des échantillons initiaux**

La Figure 134 présente le plan d'analyse des échantillons initiaux (« Urine », « Lixiviat » et « Sciure »).

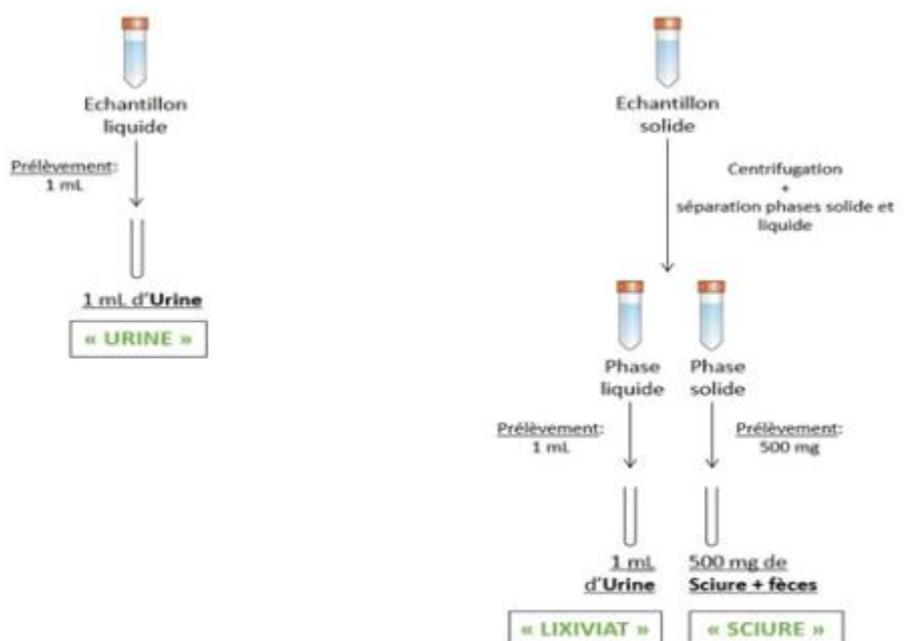


Figure 134: Préparation et description des échantillons à analyser (« Urine », « Lixiviat » et « Sciure »), échantillons initiaux.

L'analyse des échantillons de toilettes sèches a révélé la présence de diverses molécules stupéfiantes. Le Tableau 40 résume les molécules détectées pour chaque évènement :

Tableau 40: Molécules stupéfiantes retrouvées dans les différents évènements étudiés

Évènement 1	Évènement 2	Évènement 4	Évènement 5	Évènement 6
Amphétamine	Amphétamine	Amphétamine	Amphétamine	Amphétamine
Méthamphétamine	MDA	MDA	EME	MDA
MDA	MDMA	MDMA	Cocaïne	MDMA
MDMA	Kétamine	Kétamine	Codéine	EME
Kétamine	BZE	EME	Morphine	Cocaïne
EME	Cocaïne	BZE		Codéine
BZE	Codéine	Cocaïne		Morphine
Cocaïne	Morphine	Codéine		
Codéine		Morphine		
Morphine				

Tableau 41 suivant présente les valeurs lors des analyses des échantillons d'urines collectées sur les filières F1 et F2 : « Urines » bruts et sur les filières F3 et F4 : phase liquide « lixiviats » et solides « sciure », à T₀. Les conditions analytiques sont présentées en **Annexe 4**.

Bien que détectés, de très faibles concentrations en stupéfiants sont relevées sur les échantillons collectés lors de l'évènement E5. Des amphétamines, de la cocaïne, de la codéine et de la morphine ont en effet été détectées, mais à des concentrations toujours inférieures à 2-3 ng/mL. Les échantillons de cet évènement n'ont pas été ré analysés dans la suite de cette étude.

Pour les autres évènements, les résultats montrent globalement une concentration élevée en MDMA (ecstasy) et de son métabolite la MDA, suivis par l'amphétamine, la codéine, la morphine, la kétamine et la cocaïne. Cette dernière est plus aisément retrouvée que ses métabolites l'ecgonine methylester (EME) et la benzoylécgonine (BZE). L'hypothèse retenue est une meilleure stabilité de la cocaïne ainsi que la difficulté d'analyse de la BZE dans les conditions de compromis analytique établi pour l'analyse de l'ensemble des molécules.

Nous observons que lors de l'évènement E4, les concentrations en amphétamine, en MDMA et en kétamine a été bien supérieure (x10) à celle des autres évènements étudiés. Par ailleurs, la concentration en MDMA observée pour les évènements E1 et E4 et la zone de camping de l'évènement E6 est plus importante que toutes les concentrations retrouvées dans l'ensemble des échantillons étudiés (de l'ordre du millier de ng/mL au lieu de la centaine). Enfin, lors de l'évènement E6, la totalité des substances retrouvées (amphétamine, MDA, MDMA, cocaïne, codéine et morphine) sont bien plus concentrées sur le site du camping que sur le site de l'évènement lui-même.

Tableau 41: Analyse Semi-quantificative des molécules stupéifiantes présentes dans les résidus de TS

ECHANTILLONS		CONCENTRATIONS en ng/mL (<LD = concentration inférieure à la limite de détection)										
		AMPHETAMINE	METHAMPHETAMINE	MDA	MDMA	KETAMINE	EME	BZE	COCAINE	CODEINE	MORPHINE	
E1	URINE	27,5	0,0470	103	4413	0,828	< LD	< LD	0,832	40,9	12,2	
	SCIURE	19,2	1,90	107	4318	6,43	2,80	74	27,6	29,0	69,2	
	LIXIVIAT	12,6	1,79	42,6	2162	3,27	1,48	< LD	6,15	10,2	40,5	
E2	CAMPING	URINE	103	< LD	63,4	1616	2,27	< LD	< LD	0.53	4.29	1,53
		SCIURE	45,6	< LD	26,1	673	0,265	< LD	120	1.18	67.7	12,5
		LIXIVIAT	26,4	< LD	10,1	390	< LD	< LD	< LD	0.363	37.1	10,3
	CONCERT	URINE	36,3	< LD	19,6	485	0,453	< LD	< LD	0.238	9.82	4,25
		SCIURE	46,3	< LD	19,3	468	2,23	< LD	< LD	1.23	47.5	22,8
		LIXIVIAT	28,0	< LD	7,55	288	1,07	< LD	< LD	0.409	26.0	19,2
E4	URINE	468	< LD	160	4851	88,2	1,69	< LD	0,389	8,01	70,2	
	SCIURE	490	< LD	213	5004	56,8	13,9	126	23,6	21,6	78,3	
	LIXIVIAT	433	< LD	134	3990	36,0	9,75	< LD	13,6	15,1	76,9	
E5	ENTREE	URINE	0,190	< LD	< LD	< LD	< LD	0,502	< LD	0.716	1.52	0,366
		SCIURE	0,937	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	2.34	0.475	1,56
		LIXIVIAT	0,483	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	0.536	0.252	0,928
	SCENE	URINE	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	0.031	0.677	0,225
		SCIURE	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	5.41	0.731	2,17
		LIXIVIAT	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	1,03	< LD	1.24	0.250	1,48
E6	CAMPING	URINE	188	< LD	87,7	2431	< LD	0,971	< LD	0.533	62.8	200
		SCIURE	123	< LD	32,1	1344	< LD	< LD	< LD	3.66	32.0	166
		LIXIVIAT	51,1	< LD	6,79	253	< LD	3,03	< LD	0.624	9.13	86,5
	CONCERT	URINE	45,9	< LD	11,6	337	< LD	6,65	< LD	8.85	2.12	3,18
		SCIURE	20,5	< LD	4,85	110	< LD	< LD	< LD	0.942	21.5	13,9
		LIXIVIAT	19,2	< LD	2,34	254	< LD	< LD	< LD	0.295	8.00	6,17



- **Étude de la dégradation des stupéfiants dans les urines de toilettes sèches**

Après 6 mois de stockage, les échantillons d'urines ont été de nouveaux analysés. Les résultats d'analyse sont présentés dans le Tableau 42.

Tableau 42: Echantillons analysés

Liquides					
E1	E2	E4	E5	E6	E7
Dispo	Dispo	Dispo	non dispo	dispo	
E1/F2/P3mois	E2/F1/6Mois	E4/F2/P3mois		E6/F1/P3Mois	E7/F2/P6Mois
E1/F2/P6mois		E4/F2/P6mois		E6/F1/P6Mois	

Le Tableau 43 récapitule les résultats obtenus pour l'ensemble des échantillons et l'ensemble des molécules. Il est à noter que l'EME et la BZE n'ont pas été détectées. L'EME était détectée initialement aux événements E4 et E6 à des concentrations minimales de 0,97 à 6,65 ng/mL. Son absence ici n'est pas révélatrice d'une transformation de la molécule. La BZE n'avait pas été détectée dans les échantillons d'urine. On peut également remarquer l'absence de méthamphétamine. Elle avait uniquement été détectée dans les échantillons de l'évènement E1. Nous avons aujourd'hui plus de recul sur la technique développée et la concentration rapportée à l'époque semble peu pertinente car très faible (0,047 ng/mL). On peut considérer qu'il y avait présence à une très faible dose. De même, l'absence de méthamphétamine dans les échantillons plusieurs mois après n'est pas révélatrice d'une transformation réelle menant à sa disparition.

Tableau 43: Analyse Semi-quantitative des molécules stupéfiantes présentes dans les urines – évolution des teneurs au cours du stockage

ECHANTILLONS		CONCENTRATIONS en ng/mL (<LD = concentration inférieure à la limite de détection)						
		AMPHETAMINE	MDA	MDMA	KETAMINE	COCAINE	CODEINE	MORPHINE
E1	Initial	27,5	103	4413	0,828	0,832	40,9	12,2
	3M	12,6	10,2	214	ND	0,16	21,7	2,46
	6M	11,1	10,0	209	ND	0,21	19,0	2,15
E2	Initial camping	103	63,4	1616	2.270	0,53	4,29	1,53
	Initial concert	36,3	19,6	485	0.453	0,238	9,82	4,25
	6M	44,1	20,73	279	ND	ND	9,18	1,29
E4	Initial	468	160	4851	88,2	0,389	8,01	70,2
	3M	550	157	2655	103	0,12	9,24	23,9
	6M	459	126	2258	83,7	0,09	7,28	19,0
E6	Initial camping	188	87,7	2431	ND	0,533	62,8	200
	Initial concert	45,9	11,6	337	ND	8,85	2,12	3,18
	3M	59,8	15,4	188	ND	0,09	19,8	8,08
	6M	60,2	16,4	207	ND	0,15	19,8	7,40
E7	6M	ND	ND	36,7	ND	ND	ND	ND

Pour la cocaïne et la kétamine, les concentrations estimées sont très faibles et les résultats sont peu significatifs pour évaluer l'effet du stockage de plusieurs mois sur les molécules. Seuls les échantillons de l'évènement E4 pour la kétamine sont significatifs. Ils permettent de constater qu'après 3 et 6 mois de stockage, les concentrations n'ont pas évolué.

Pour toutes les autres molécules, les tendances d'évolution des concentrations sont sensiblement identiques.

Pour l'évènement E1, toutes les urines présentent des concentrations plus faibles après trois mois de stockage par rapport à la première analyse. En revanche, entre 3 et 6 mois, les concentrations ne varient pas.

Pour l'évènement E2, la morphine et la codéine (famille des opiacés) présentent des concentrations équivalentes aux premières analyses. Les concentrations entre les sites de camping et de concert étaient déjà similaires. En revanche, pour la famille des amphétaminiques (amphétamine, MDA, MDMA), on note une diminution de concentration après stockage. Il faut prendre en compte que le stockage a été réalisé suite au mélange des urines de tous les sites de l'évènement. On avait pu évaluer que pour toutes ces molécules le site du camping étaient bien plus concentrées que sur le site du concert. La diminution de la concentration étant conséquente pour les 3 molécules, on peut supposer que lors du mélange des urines, le volume d'urine du site du concert était plus important que celui du camping. Ainsi la diminution de concentration du mélange final serait essentiellement due à un effet de dilution.

Pour l'évènement E4, les concentrations retrouvées sont pour la plupart identiques aux premières analyses (codéine, MDA, amphétamine, kétamine). Au départ, quel que soit le site de prélèvement, les concentrations étaient identiques. Aucun phénomène de dilution précédemment supposé n'aurait pu avoir lieu. Seules la morphine et la MDMA ont des concentrations plus faibles. Il peut s'agir de dégradation ou de biotransformation de ces molécules au cours du temps [48].

Pour l'évènement E6, le même phénomène de dilution que lors de l'évènement E2 est observé. En effet, les concentrations initiales sur le site du camping étaient plus importantes que celles du site du concert. Cette fois, le phénomène est également observé pour la codéine et la morphine.

- ÉVOLUTION DES STUPÉFIANTS

Pour conclure, excepté pour les échantillons de l'évènement 1, le simple stockage des urines plusieurs mois, ne permet pas de diminuer significativement les concentrations en stupéfiants. Les diminutions observées sur les échantillons des évènements E2 et E6 sont à rapprocher d'une dilution des urines des différents sites de collecte. Seules la morphine et la MDMA semblent se dégrader ou se biotransformer au cours du temps.

5.5. Cas particuliers E8 et E9

Pour rappel, les cas particuliers E8 et E9 retranscrivent une réalité de terrain qui est le stockage en cuve (IBC) sur le long terme. Pour le suivi microbiologique correspondant à ces 2 itinéraires, les valeurs correspondant à $P_{\text{maison4mois}}$ ne sont disponibles ni pour E8 ni pour E9.

5.6. Éléments d'estimation des risques

L'évaluation des risques est menée avec une qualitative. Dans le cas présent, effectivement, il s'agissait de fournir des éléments relatifs à la présence et au niveau de concentration dans les produits de quelques agents dangereux, et de décrire les éventuelles modalités d'exposition associées à l'ensemble des 4 filières de toilettes sèches mobiles. Le croisement de l'existence d'agents dangereux (avec leurs voies d'exposition et leurs physiopathologies) et du mode d'exposition, permet de prétendre à l'existence d'un risque (probabilité d'occurrence de maladie), sans pouvoir en préciser le niveau. Cette approche permet de définir les meilleures mesures possibles de prévention, pour les agents dangereux ayant les effets les plus graves.

5.6.1. Maillon collecte / prévidange / transport

Il s'agit des maillons présentant le plus d'impacts sanitaire potentiels sur les opérateurs des prestataires.

D'un point de vue sanitaire :

- **F1 et F2** : Aucune différence de tendance n'est observée entre les 2 filières :
 - Présence d'*E. coli* et d'entérocoques qui montrent une contamination fécale des urines même si on n'observe pas de pathogènes, leur présence incite à la prudence dans les opérations de manutention.
 - Les urines collectées en événementiel ne contiennent ni virus ni parasites
- **F3 et F4** : Il n'y a à ce stade pas de différence entre les 2 filières :
 - Absence de virus, de parasite et de salmonelles dans les échantillons collectés
 - Les matières sont fraîches avec de fortes teneurs en *E. coli*, Entérocoques, *C. perfringens* et ASR qui sont des indicateurs de contamination fécale ;

- La présence de *Aspergillus fumigatus* étant confirmée, il suffit de rappeler les consignes de protection à respecter lors des opérations de manipulation (aération des zones de manipulation et port d'un masque type FFP2 pour les professionnels et pour les personnes fragiles).
- Activités nécessitant des précautions : nettoyage des cabines et surtout pré-vidange (risque d'éclaboussure)
- Comportements observés : ports de gants, de vêtements dédiés et lavage de mains réguliers ;

D'un point de vue environnemental :

L'ensemble des opérations de gestion des matières suivies dans le cadre de l'étude pour ces trois maillons sont réalisées en cuves étanches. Si les cuves de collecte sont lavées pendant l'événement, les faibles volumes d'eaux usées générés sont également collectés en cuve étanche. Sur les événements et pour les prestataires suivis aucun impact environnemental par infiltration ou ruissellement n'a été observé.

Il est à noter que les impacts atmosphériques relatifs au transport n'ont pas été étudiés.

5.6.2. Maillon traitement

D'un point de vue sanitaire :

- **F1 et F2** : les urines ayant été en contact avec de la matière carbonée (F2) ou pas (F1) peuvent être considérées comme hygiénisées après 3 mois de stockage en bidon fermés (considéré comme la fin du maillon de traitement). Il n'y a ici aucune manipulation sur ce maillon et donc aucune exposition.

- **F3** : Il n'y a pas ou peu d'impact de la dilution sur les indicateurs suivis mais le compostage, par sa montée en température, a un rôle hygiénisant avéré. Les interventions de manipulation de matières non totalement hygiénisées sont nulles dans le cadre de l'étude, cependant il conviendrait d'intervenir dans la gestion du traitement. Toute intervention doit être réalisée en connaissance de manutention de matières fécales.

- **F4** : L'impact de la dilution des pathogènes grâce au mélange avec des déchets verts n'est pas prouvé. Seul les ASR sont moins présents dans les DV que dans les matières de TSM. Toutes les actions d'exploitation du compost sont mécanisées et les agents sont peu exposés.

D'un point de vue environnemental :

- **F1 et F2** : Les urines sont stockées en bidon plastique fermé. Il n'y a ici aucun impact environnemental.

- **F3** : Des flux d'urine importants déversés sur plates-formes de compostage individuel qui ne peut être infiltré uniquement avec un sol de classe « très perméable » impliquant des impacts potentiellement élevés. Préférer épandage sur composts diffus dans le temps. Si respect des règles de l'art de l'ANC impact environnemental faible (notamment au regard de la nappe phréatique, cours d'eau, etc.). Il est pour l'instant difficile de parler de compostage caractérisé dans ce maillon.

- **F4** : Les plates-formes sont étanches et les lixiviats produits sont collectés puis réintroduit dans les composts pour en gérer l'humidité et le ratio C/N. Aucun impact environnemental n'est identifié dans cette filière.

5.6.3. Maillon valorisation

D'un point de vue sanitaire :

Le suivi de ce maillon n'apporte pas plus d'élément que ceux collectés en fin de traitement :

- **F1 et F2** : les urines peuvent être valorisées car elles sont hygiénisées. Il n'y a rien à spécifier d'un point de vue sanitaire ici. Les concentrations en drogues sont très faibles (de l'ordre du nanogramme et de manière très ponctuelle du microgramme). Le danger est donc considéré comme minime notamment du fait de l'absence d'analyse dans les boues de STEP comme élément de comparaison.

- **F3 et F4** : Les normes encadrant la valorisation (en particulier NF U44-051) sont systématiquement respectées pour F4. Pour F3 seul la NF U44-095 (sauf cultures maraîchère) est respectée. Concernant les drogues l'objet de l'étude était de répondre à (i) retrouve-t-on des stupéfiants dans les matières de TSM et peut-on les quantifier ? et (ii) Comment évolue-t-il au cours du traitement ? La réponse à la première question est positive car des méthodologies d'identification et de suivi ont peut-être misent au point. La réponse à la seconde question est que les molécules sont plutôt persistantes en phase aqueuse et leur avenir est plus incertain dans la phase solide. Au regard des concentrations minimales et de l'absence d'éléments de comparaison, le danger est donc quasiment absent.

D'un point de vue environnemental :

- **F1 et F2** : la valorisation peut être réalisée soit dans les composts pour ajuster l'humidité soit directement au champ (voir la posologie préconisée dans le chapitre des recommandations).
- **F3** : L'étude manque d'information pour élaborer des préconisations en l'état. Deux issues doivent être analysées : augmenter la durée de compostage et/ou revoir le cahier des charges du compostage en pratiquant des retournements et une meilleure gestion de l'humidité et de la matière organique.
- **F4** : les composts produits respectent les normes encadrant la valorisation (NF U44-051).

5.6.4. Synthèse d'estimation des risques

Au vu de l'ensemble des résultats ci-dessus, rien de particulier n'est à souligner par rapport aux consignes et règles d'hygiène générales pour les filières « eaux usées/excrétas » d'une part et de protection des travailleurs contre des poussières pouvant contenir des agents biologiques dangereux d'autre part. Sur ce postulat, il n'y a pas nécessité d'une nouvelle réglementation. Une réflexion quant à la considération des matières de TSM dans une réglementation ou normalisation existante doit être initiée. Le Tableau 44 est une proposition validée dans le cadre du COPIL n°3 :

Tableau 44: Niveaux de danger des matières de TSM en fonction des maillons et des filières

	Type d'impact	Maillon collecte / pré-vidange / transport	Maillon traitement	Maillon valorisation
F1	Sanitaire	Faible	Faible	Faible
	Environnemental	Faible	Nul	Faible
F2	Sanitaire	Faible	Faible	Faible
	Environnemental	Faible	Nul	Faible
F3	Sanitaire	Moyen	Moyen	Faible
	Environnemental	Faible	Moyen	Faible
F4	Sanitaire	Moyen	Faible	Faible
	Environnemental	Faible	Faible	Faible

Les dangers émis dans le Tableau 44 peuvent être maîtrisés par :

- Le port d'EPI par les opérateurs comprenant vêtements dédiés, gants et masque type FFP2⁴⁵.
- La gestion des expositions.

6. Recommandations

6.1. Rappel des résultats de la caractérisation

1. Perception des risques sanitaires

Au niveau des organisateurs d'événements :

- Le critère de propreté et d'entretien régulier des cabines est primordial,
- Peu ou pas de préoccupation quant au devenir des matières et aux risques associés,
- Forte confiance en le prestataire.

Au niveau des usagers :

- Conscience d'un risque de contamination potentiel dans l'usage de toilettes publiques en général sans un focus en particulier sur les toilettes sèches.
- Généraliser la pose d'un dispositif de lave-main de manière visible, l'accès à l'eau sur les sites de TSM et à un dispositif d'assainissement associé et l'installation d'une clôture fermée pour la zone de maintenance des toilettes.

2. Inertes

⁴⁵ http://social-sante.gouv.fr/IMG/pdf/Fiche_Masques.pdf

Les matières de TSM respectent les valeurs limites imposées en inertes par la norme NFU U44-051 sur les intrants de plate-forme. Pour garantir ce respect, il est recommandé de :

- Disposer des poubelles dans toutes les cabines ;
- Réaliser un tri manuel (avec des gants) lors de la vidange de la cuve de collecte (celle dans la cabine) soit dans la cuve de transport à plus gros volume (cuve IBC) soit directement sur la plate-forme de compostage individuelle.

3. Dimensionnement des installations et flux de matière

Une proposition de recommandation de dimensionnement minimum a été établie par tranche de 1000 personnes comme dans le Tableau 36.

Tableau 45: Dimensionnement des installations et flux de matière

	Nb minimum d'urinoir	Nb minimum de Cabine	Nb minimum de PMR
<i>Petit (1 à 999 pers/jour)</i>	1	2	1
<i>Moyen (1000 à 3000 pers/jour)</i>	4	5	1
<i>Grand (3001 et plus pers/jour)</i>	Au moins 5 plus 2 urinoirs / cabines pt1000*		Au moins 2 plus 1 cab. pt1000
<i>pt1000* = par tranche de 1000 personnes supplémentaire</i>			

Les chiffres annoncés doivent être relativisés au regard des critères suivants :

- la consommation de boisson / repas de l'événement ;
- si le site est ouvert au public ou fermé (place payante) ;
- la présence d'autres toilettes sur le site ou à proximité ;
- la nature de l'événement qui peut délivrer des « flots » ponctuels d'utilisateurs (parcours sportifs avec départ/arrivée, implantation entre 2 concerts, matinée du camping, etc.).

4. Gestion du traitement

Sur la filière F3 de compostage individuel sur aire non étanche :

- Le facteur de dilution des excréments+litière sur les déchets verts est moyen (de 1 pour 2 à 1 pour 5) ;
- La gestion du compost est minime (pas de gestion de l'humidité et un retournement dans l'année) ;
- Les sols des plates-formes de compostage ont absorbés les lixiviats générés (y compris lors de l'ajout des urines F2 générées par l'événement).

Sur la filière F4 de compostage collectif en plate-forme privée étanche :

- Le facteur de dilution des excréments+litière sur les déchets verts est élevé de 1 pour 12 à 1 pour 15 ;
- La gestion du compost respecte un cahier des charges précis permettant le respect des normes en vigueur.

5. Suivi des indicateurs pour les Filières F1 et F2

- Pas de différence significative entre les deux filières ;
- Les pH deviennent très rapidement basiques après la collecte créant ainsi rapidement un milieu défavorable au développement des pathogènes ;
 - Les urines collectées en événementiel ne contiennent ni virus ni parasites (maillon de collecte) ;
 - Hygiénisation totale en trois mois (pas de risque sanitaire avéré et significatif). Les urines collectées dans le cadre de l'étude ne contiennent ni virus ni parasites (maillon de collecte) ;
 - Le Ratio DCO/DBO reste inférieur à 2 caractérisant des urines encore riche en matière organique et dont la biodégradabilité doit être facilement réalisable par le sol en milieu aérobie lors de l'épandage ;
 - La teneur en azote est stable au cours du stockage en bidon rempli et fermé ;
 - Les valeurs obtenues en azote et phosphore sont dans l'ordre de grandeur (un peu en dessous) de la littérature pour les urines ;
 - Important de stocker rapidement l'urine en bidon fermé au moment de la collecte pour ne pas « perdre » l'azote et lui garder un intérêt agronomique ;

- Il est possible d'estimer la valorisation des urines collectées à 5L/m² ;
- Le simple stockage des urines plusieurs mois, ne permet pas de diminuer significativement les concentrations en stupéfiants. Seules la morphine et la MDMA semblent se dégrader ou se biotransformer au cours du temps.

6. Suivi des indicateurs pour les Filières F3 / F4

- Une augmentation de la température est observée au-delà de 40°C (jusqu'à 70°C) pendant plus de 3 semaines. Hormis pour E5, les courbes de températures observées garantissent l'hygiénisation des composts.
- Les DV utilisés présentent tous des taux variables mais relativement élevés en *E. coli*, Entérocoques et ASR... Globalement, un faible impact sanitaire de la dilution des matières de TSM dans les DV est observé. La différence majeure de caractérisation est que les matières de TSM sont plus chargées en ASR que les DV.
- Aspects sanitaires aux maillons collecte et transport : les matières sont fraîches et contiennent des teneurs élevées en *E. coli*, Entérocoques, *C. perfringens* et ASR. Ces indicateurs ne permettent pas d'évaluer le risque pour les manutentionnaires. Par contre on constate une absence généralisée d'hépatite A et d'œufs d'helminthes : les usagers de TSM ne présentent pas de contamination particulière. Sur ces paramètres, on peut constater une absence de risque de contamination oro fécale pour les manutentionnaires.
- Aspects sanitaires au maillon traitement : les indicateurs suivis (*E. coli*, Entérocoques, *C. perfringens*, ASR) sont abattus sur une durée de 8 mois (F4) et d'un an (F3) avec l'action de la température. Il est possible de conclure que le processus de compostage joue un rôle hygiénisant principalement par sa montée en température. Pour F3, la garantie de l'hygiénisation totale des matières en 12 mois par stockage est plus difficile à conclure au regard de l'hétérogénéité des résultats. La norme NF U44-051 est respectée sur les plates-formes collectives F4.
 - L'humidité élevée du milieu engendrerait une inhibition d'activité respiratoire des matières du fait de la réduction d'apports en oxygène nécessaire au développement de la flore microbienne aérobie. Tandis que les matières présenteraient une forte activité anaérobie.
 - Aspect agronomique pour F3, la gestion des matières par simple stockage ne semble pas suffisante. En particulier, la gestion de l'humidité paraît défailante (trop humide) ce qui altère la dégradation de la MO (trop lente) et donne au bout d'un an des composts pouvant ne pas respecter la norme NF U44-051 sur les ratios C/N et MO/C. Pour y remédier de simples mesures de gestion peuvent être mise en œuvre (retournement du tas, ajout de DV et traitement différencié de F1 ou F2 en gardant des urines pour ajuster l'humidité au besoin).
 - Aspect agronomique pour F4, l'introduction de matières de TSM n'altère pas le fonctionnement des composts de DV sur les paramètres suivis dans le respect des normes (NF U44-051 en particulier).

6.2. Par maillons

Concernant la propriété des matières, une corrélation est faite avec les boues tant en assainissement collectif qu'en ANC : la propriété des matières revient au prestataire / gestionnaire / vidangeur, et non au producteur individuel (de la fosse septique) ou à la collectivité (de la STEP). Les résidus appartiendraient alors au prestataire / gestionnaire en charge du traitement des matières de TSM. Toutefois, la question se pose de savoir pourquoi se placer dans ce cadre marginal par rapport à la règle en matière de déchet qui est que le producteur du déchet (l'individu ou l'organisateur) en est le propriétaire.

La réflexion doit encore être alimentée notamment en consultant la DGPR : Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR) au Ministère de l'Eau, de l'Énergie et de la Mer.

6.2.1. Maillon collecte

L'identification officielle des matières de toilettes sèches mobiles pour les deux type de matières urines et excréta + matière carbonée est nécessaire. Cette identification a pour but de qualifier les matières produites pour leur acceptabilité sur les plates-formes collectives.

L'analogie avec le code déchets 19 08 05 « Boues provenant du traitement des eaux usées urbaines » comme déchet non dangereux aurait pu être une solution bien que les matières ne présentent ni les caractéristiques de ce code concernant les métaux lourds (ou les CTO ou les ETM) ni concernant le volet sanitaire et ne proviennent pas du traitement des ERU.

Une analogie avec le code déchets 02 01 06 06 « Fèces, urine et fumier (y compris paille souillée), effluents, collectés séparément et traités hors site » paraissait mieux approprié de par la proximité de leur composition, bien que les matières de TSM ne proviennent pas d'une activité agricole et que d'une manière générale c'est la loi sur l'eau et non le cadre des ICPE qui s'applique aujourd'hui pour les déjections humaines.

Enfin, il est aussi possible de faire une analogie avec le code déchets 20 01 99 « déchets municipaux (déchets ménagers et déchets assimilés provenant des commerces, des industries et des administrations) » dans sa partie « fractions collectées séparément ». Effectivement ce cadre déchet regroupe les déchets compostables et les déchets verts qui sont les familles les plus apparentés aux matières de TSM. Dans la classification 20 01, les matières de TSM sont collectés séparément et son produits par l'homme. L'avantage pour les matières de TSM d'être classifiées dans cette catégorie est qu'il y a une possible ouverture de filière reconnue pour la gestion des matières tant de TSM que de TS urbaines.

À ce jour, en l'absence de code déchets le plus simple est un raccordement au code 20 01 99. Pour la création d'un code déchet pour les matières de toilette sèche (domestique, mobile, urbaine) il conviendrait de créer un nouveau code déchet qui pourrait être 20 01 42 correspondant au dernier code disponible.

Pour réduire les dangers sanitaires relatifs à ce maillon, il est recommandé de :

- Porter des gants et des vêtements dédiés pour les actions de manutention et de nettoyage ;
- Porter un masque type FFP2 pour les professionnels et pour les personnes fragiles pour la manipulation de la matière carbonée dans une zone aérée ;
- Créer une zone de travail fermée et non accessible au public ;
- Poser un dispositif de lave-main de manière visible sur tous les sites ;
- Assurer l'accès à l'eau sur les sites de TSM et à un dispositif d'assainissement associé ;
- Mettre en place une poubelle pour les inertes dans toutes les cabines de TSM ;
- Assurer un nombre de cabines minimum en fonction du nombre d'usagers (voir tableau de dimensionnement prévu à cet effet) ;
- Le gestionnaire des toilettes doit prévoir la matière carbonée et les cuves de collecte étanches en quantité suffisante au regard du public attendu (voir tableau de dimensionnement prévu à cet effet).

Les cuves de collecte des urines doivent être fermées dès qu'elles sont remplies au maximum

6.2.2. Maillon transport

Tous les prestataires ou gestionnaires de TSM doivent être soumis à déclaration de transport pour les déchets non dangereux dans le respect du code de l'environnement (article R 541-49 à R 541-64). Cette déclaration est obligatoire, dès lors que les quantités transportées sont supérieures à 0,5 tonne par chargement pour les déchets autres que dangereux. Le transport des matières doit être réalisé en cuve étanche fermée. Les prestataires conduisant des véhicules de plus de 3,5 T avec leur matériel (toilettes et matières de TSM) mais dont la conduite n'est pas leur activité principale ne devraient pas être soumis à la FIMO⁴⁶. Généralement, le secteur du transport des déchets par des véhicules de plus de 3,5 T implique que les chauffeurs disposent obligatoirement de la FIMO tandis que les agents des espaces verts des collectivités n'y sont pas soumis. Les prestataires de TSM du fait de leur activité sont amenés à transporter des matières (qui peuvent être assimilés ici à des déchets verts) sans que la conduite soit leur activité principale

6.2.3. Maillons traitement et valorisation

Selon l'analyse multicritères de caractérisation des matières de TSM, il n'apparaît pas opportun de catégoriser les maillons « traitement » et « valorisation » de la filière d'assainissement en fonction de seuils fixes. Les deux modes de gestion doivent être identifiés, reconnus, respectés et dont le choix soit laissé à la libre appréciation des prestataires de TSM.

❖ Compostage par le prestataire / gestionnaire des TSM

Les volumes journaliers moyens produits par les prestataires n'entrent pas dans la réglementation ICPE car ils sont trop faibles. Toutefois, l'activité est événementielle et saisonnière. Il peut y avoir des pics de production sur une semaine qui dépasse l'obligation de déclaration ICPE 2780 ou 2780-1. De plus, la réflexion commune avec les TS urbaines du projet OCAPI pourrait largement dépasser les seuils des ICPE (2t/jour correspondrait aux déjections d'environ 10 000 personnes).

Le prestataire / gestionnaire des TSM doit pouvoir assurer le compostage des matières de TSM à la parcelle. Bien qu'il ne soit pas sous la réglementation ICPE, le gestionnaire des matières doit faire le nécessaire pour se mettre le plus possible en conformité par rapport à la nouvelle nomenclature ICPE et la rubrique 2780 dédiée au compostage.

Pour cela, il est nécessaire de :

- L'obtention d'un diplôme de Maître composteur avec l'option GC-25 pour le responsable du compostage ;

⁴⁶ Formation Initiale Minimale Obligatoire article 1^{er} de l'ordonnance n° 58-1310 du 23 décembre 1958



- Respect des règles de l'art de la mise en place d'un espace de compostage dédié tel que spécifié en ANC, à savoir :
 - Aménagement et implantation d'une aire de compostage répondant à :
 - hors zone inondable ;
 - présence de la nappe phréatique à plus de 3m ;
 - distance de plus de 35m d'un puits ;
 - limite de propriété à plus de 3m et implantation à une distance suffisante des habitations et des portes et fenêtres d'établissements recevant du public pour limiter les troubles de voisinage ;
 - protection contre les phénomènes de ruissellement ;
 - protection contre les intempéries ;
 - absence de rejet direct au milieu hydraulique superficiel des urines et lixiviats ;
 - Présence d'une zone de réception, tri et contrôle des produits entrants ;
 - Présence d'une zone de stockage du structurant ;
 - dimensionnement de l'aire pour que sa capacité puisse accueillir les volumes générés pendant une année d'activité et au moins trois fois ce volume en déchet vert.
 - Dans les zones à enjeux sanitaire ou environnemental, l'aire de compostage est étanche avec un dispositif de collecte des lixiviats et sa recirculation sur les composts. Le bassin de récupération des lixiviats est dimensionné sur la base de l'analyse statistique de la pluviométrie régionale, de la surface et de la pente du composteur. La préconisation de dimensionnement (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie) tient compte du rapport de 0,05 à 0,1 m³ par m² de composteur.
 - Le maître composteur doit s'assurer de :
 - Séparation de la phase liquide dans les cuves de collecte ou transport puis mise en stockage en cuve étanche remplie et fermée ;
 - Maintien d'un processus aérobie dans le compost ;
 - Gestion de l'humidité ;
 - Absence de nuisance olfactive ;
 - Mise en compostage avec un taux de dilution des matières avec des déchets verts supérieur à 1 pour 3. Favoriser le co-compostage avec une diversité de déchets verts (cuisine, cantine, DV de parcs et jardins, etc.) ;
 - Un suivi de température doit être fait montrant l'hygiénisation des matières (soit maintien de 3 jours à + de 70°C soit compostage sur la durée allant jusqu'à 2 ans) ;
 - La bonne tenue d'un registre comportant la date et les conditions de réalisation des principales opérations : retournements, vidage, récupération du compost ;
 - La réalisation et l'archivage d'un bilan annuel synthétique comportant des informations sur les estimations relatives aux quantités traitées et au nombre d'événements réalisées, sur les principales opérations effectuées, sur les problèmes rencontrés et les solutions apportées ;
 - La bonne intégration environnementale de l'entité. Il s'assure notamment de la bonne intégration paysagère du composteur en ayant recours aux aménagements adéquats. Il fait également en sorte que l'activité développée minimise les nuisances.

❖ Compostage en plate-forme collective

La problématique ne relève pas ici de l'ANC, car les matières sont issues de l'événementiel et non pas de l'habitat individuel. Il convient de consulter différentes directions ministérielles issues de l'environnement (DGPR), de la santé et de l'agriculture pour croiser les différentes problématiques déchet, assainissement, agriculture.

Un code déchet pour les matières de TSM permettrait l'entrée sur les plates-formes collectives. Il convient de rechercher la procédure pour créer un code déchet ou se rattacher à un code existant. Une réunion comprenant la DGPR, l'ADEME, le Ministère de l'agriculture, la Direction de l'Eau et de la Biodiversité a été initiée par TDM pour trouver des solutions. Il en ressort que la réglementation en vigueur permet déjà de classer les matières issues des toilettes sèches sous le code 20 01 99 « autres fractions non spécifiées ailleurs » de la section « fractions collectées séparément (sauf section 15 01) » du chapitre « déchets municipaux (déchets ménagers et déchets assimilés provenant des commerces, des industries et des administrations), y compris les fractions collectées séparément » (décision 2000/532/CE de la Commission du 3 mai 2000



établissant la liste des déchets). Selon les ministères cette réglementation ne comporte donc pas d'obstacle à l'acceptation des matières sur des plates-formes de compostage collectives. Cependant, force est de constater que sur le terrain, les gestionnaires de plate-forme de compostage collective refusent ces matières faute d'assimilation à un code déchets précis.

Les plates-formes collectives publiques ou privées appliquent une taxe au prestataire de toilettes sèches pour gérer leurs matières quand ils les acceptent. Au regard des résultats de l'étude tant sur les aspects sanitaires qu'environnementaux les matières de TSM peuvent être acceptées sans réserve sur les plates-formes collectives au même titre que les déchets verts. Leur traitement en plate-forme collective avec des déchets verts permet de respecter la norme NF U44-051.

❖ Valorisation

Concernant ce maillon, seules les plates-formes de compostage individuelles sont concernées dans la mesure où les plates-formes collectives assurent déjà la commercialisation ou l'épandage des composts produits. Il y a ici deux produits à valoriser, à savoir :

- Les urines

La valorisation des urines se fait par épandage en fonction de leurs concentrations en nutriments et des besoins des cultures (Looze, 2016). Celles-ci peuvent aussi rejoindre les composts pour en faciliter la gestion de l'humidité. Dans le cas de la valorisation en agriculture l'OMS (2006) propose des recommandations associant durée du stockage, température et type de culture (voir Tableau 46). Si la culture est du blé pour faire du pain (aliment destiné à être transformé), l'OMS considère qu'il suffit d'un stockage de 1 mois à 4°C.

Tableau 46: Durées de stockage recommandées associées aux types de culture.

Température de stockage	Durée de stockage	Pathogènes potentiellement présents dans le mélange d'urine après stockage	Cultures recommandées
4	≥1 mois	Virus, protozoaires	Aliments et fourrages destinés à être transformés
4	≥6 mois	Virus	Aliments destinés à être transformés, fourrage ^d
20	≥1 mois	Virus	Aliments destinés à être transformés, fourrage ^d
20	≥6 mois	Probablement aucun	Tous types de cultures ^e

Pour 100 kg d'azote à l'hectare, il faut épandre environ 27 m³ d'urine (concentration moyenne des urines collectées 3.75g d'azote/L) soit environ 2.7L/m².

Pour 100 kg de phosphore à l'hectare, il faut épandre environ 167 m³ d'urine (concentration moyenne des urines collectées 0.6g de phosphore/L).

Il est préférable de procéder à un épandage au printemps après stockage (pour les aspects sanitaires) car c'est le moment le plus dynamique et où le besoin des plantes en nutriment est le plus fort.

- Les composts de TSM

Pour les prestataires pratiquant le traitement des matières à domicile, la valorisation doit être faite dans le respect des dosages applicables aux composts à savoir un maximum de 3 kg / m².

Conclusion

L'étude de caractérisation des matières de TSM s'est décomposée selon plusieurs axes touchant à des thématiques diverses (sanitaire, logistique, perception des usagers, dimensionnement, etc.) tout au long des 4 filières d'assainissement suivies. Le but étant d'accompagner l'amélioration des pratiques de gestion des matières de TSM au niveau des usagers, des prestataires / gestionnaires des matières et des organisateurs d'évènements.

La synthèse bibliographique sur les réglementations étrangères couvrant la gestion des excréta dans le monde en particulier sur les aspects collectif du transport et du traitement des excréta sans eau, a montré que la France fait partie des pays pionniers en particulier du fait de la réglementation sur l'ANC. Toutefois, la réglementation française n'encadre pas aujourd'hui les pratiques relevant de la gestion des matières de TS collectives que ce soit des TS urbaines ou mobiles.

L'enquête semi-quantitative sur la perception des risques sanitaires auprès des usagers et des organisateurs d'évènements fait ressortir le manque de préoccupation quant au devenir des matières et aux risques associés (sanitaire ou environnemental) malgré la conscience d'un risque de contamination potentiel dans l'usage de toilettes publiques en général sans un focus en particulier sur les toilettes sèches.

L'analyse des flux a permis d'élaborer des recommandations de dimensionnement d'installation de collecte, de transport et de traitement des matières. Ces recommandations sont faites à minima et sont à mitiger au regard de l'analyse contextuelle de l'évènement. L'analyse des indésirables montre que les matières de TSM respectent les normes d'entrées sur les plates-formes de compostage collectives et que pour les composts produits respectent les normes sur ce paramètre.

Sur le volet sanitaire, au vu des résultats de l'analyse de composition globale des matières, rien de particulier, par rapport aux consignes et règles d'hygiène générales pour les filières « eaux usées/excréta » d'une part et de protection des travailleurs contre des poussières pouvant contenir des agents biologiques dangereux d'autre part. Sur cet aspect, il n'y a pas nécessité d'une nouvelle réglementation.

Sur le volet environnemental, aux niveaux des maillons collecte et transport aucun impact n'est à signaler au regard des pratiques en cuves étanches. Concernant le maillon traitement dans le cas de figure d'un compostage par le prestataire / gestionnaire des TSM, celui-ci doit disposer d'un diplôme de Maître composteur avec l'option GC-25 (du référentiel ADEME) et respecter les règles de l'art de la mise en place d'un espace de compostage dédié tel que spécifié en ANC (comprenant dans les zones à enjeux sanitaire ou environnemental, l'aire de compostage est étanche avec un dispositif de collecte des lixiviats et sa recirculation sur les composts). Le traitement et la valorisation des matières introduites sur les plates-formes collectives étanches n'engendrent pas d'impact environnemental autre que ceux identifiés par une telle pratique dans le respect de la norme prévue à cet effet (NF U44-051). Enfin, la valorisation des matières issues des plates-formes individuelles doit se faire selon les fractions concernées (liquide ou solide) dans le respect de critères précis afin de limiter les impacts environnementaux. En particuliers, les fractions liquides peuvent être épandues à la parcelle selon un cahier des charges précis.

Enfin, un constat édifiant est qu'aujourd'hui le blocage pour accéder aux plates-formes de compostage collectives et aux fumières qui sont comme le montre l'étude des filières de traitement appropriées et efficaces. En parallèle, les matières solides et liquides de TSM souffrent d'une absence de statut réglementaire. Il est nécessaire d'étudier la possibilité pour les matières de TSM de trouver une solution soit réglementaire soit normative soit les deux afin d'accéder à des filières d'assainissement collectives qui puissent faciliter le développement des toilettes sèches mobiles et urbaines.

Le set d'outils de communication (**Annexe 5**) produits dans le cadre de l'étude doit permettre d'en diffuser les principaux résultats. Cette forme vulgarisée vise à ce que la gestion de ces matières puisse être réalisée avec bon sens et dans un cadre réglementaire qui permette le passage à grande échelle.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Réseau de l'Assainissement Ecologique : www.rae-intestinale.fr
- [2] Journal Officiel de la République Française – JORF n°0234 du 9 octobre 2009 page 16464
texte n° 2 - Arrêté du 7 septembre 2009 fixant 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. Disponible sur le web :
<https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=LEGITEXT000021125886>
- [3] Assainissement non collectif - Guide d'informations sur les installations - Outil d'aide aux choix. Disponible
sur le web : http://www.assainissement-non-collectif.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/12032_ANC_Guide-usagers_complet_02-10-12_light_cle1713de.pdf
- [4] Assainissement non collectif - Guide d'accompagnement des services publics de l'ANC - Outil d'aide au
contrôle. Disponible sur le web : http://www.assainissement-non-collectif.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/12032-2_ANC_Guide-SPANC_complet_monte_2014_cle7a9567.pdf
- [5] Journal Officiel de la République Française – JORF n°162 du 14 juillet 2007 page 11937
texte n° 10 - Arrêté du 22 juin 2007 relatif à la collecte, au transport et au traitement des eaux usées des
agglomérations d'assainissement ainsi qu'à la surveillance de leur fonctionnement et de leur efficacité, et aux
dispositifs d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique supérieure à 1,2
kg/j de DBO5. Disponible sur le web :
<https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000276647>
- [6] Assemblée nationale - Question de Mme Olivier-Coupeau Françoise sur les toilettes sèches, élu du
Morbihan. Disponible sur le web : <http://questions.assemblee-nationale.fr/q13/13-73941QE.htm>
- [7] Légifrance, **Article R 111-3 du code de l'urbanisme**. Disponible sur le web :
<https://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?cidTexte=LEGITEXT000006074096&idArticle=LEGIARTIO0029728336&dateTexte=20150526>
- [8] Réseau compost citoyen. Disponible sur le web : <http://reseaucompost.org/>
- [9] Journal Officiel de la République Française – JORF n° 286 du 10 décembre 1997 - Décret n° 97-1133 du
08/12/97 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées
http://www.ineris.fr/aida/consultation_document/3061 (consulté en Mai 2015)
- [10] Journal Officiel de la République Française – JORF n° 26 du 31 janvier 1998 - Arrêté du 8 janvier 1998
fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles pris en application
du décret no 97-1133 du 8 décembre 1997 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées.
Disponible sur le web :
<https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000570287&categorieLien=id>
- [11] Journal Officiel de la République Française – JORF n° 52 du 3 mars 1998 - Arrêté du 02/02/98 relatif aux
prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées
pour la protection de l'environnement soumises à autorisation. Disponible sur le web :
<https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=LEGITEXT000005625281>
- [12] Toilettes Du Monde, RAE – Etats des lieux des pratiques (2015)
- [13] Agricultures et territoires – plaquette La fertilité des sols : l'importance de la matière organique (2011).
Disponible sur le web : http://agriculture-de-conservation.com/sites/agriculture-de-conservation.com/IMG/pdf/ca67-amendements_organiques.pdf

- [14] Mohamed Larbi – thèse « Influence de la qualité des composts et de leurs extraits sur la protection des plantes contre les maladies fongiques » (2006) - 161 pages. Disponible sur le web : <http://orgprints.org/8935/1/larbi-2006-dissertation.pdf>
- [15] Codex alimentarius : <http://www.codexalimentarius.org/codex-home/fr/>
- [16] OMS - Reuse of effluent : methods of wastewater treatment and health safeguard (1973)
- [17] OMS - L'utilisation d'eaux usées, d'excréta et d'eaux ménagères en agriculture et en aquaculture (2006)
- [18] Journal Officiel de la République Française – JORF n°0201 du 31 Août 2010 (p.15828) – Arrêté relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts. Disponible sur le web : <http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000022753522&dateTexte=&categorieLien=id> (consulté en Mars 2015)
- [19] Toilettes du Monde, Ademe, RAE – Etude sur la gestion des matières de toilettes sèches à litière domestique (2014)
- [20] Journal Officiel de la République Française - JORF n°0061 du 12 mars 2008 page 37003 - Décret n° 2008-244 du 7 mars 2008 relatif au code du travail (partie réglementaire). Disponible sur le web : http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do;jsessionid=3D6BA4A1160C21DB2DC5FA7C313FF7F4.tpdila07v_2?cidTexte=JORFTEXT000018442415&dateTexte=20080312 (consulté en Mai 2015)
- [21] Ouwehand A.C *et al.* (2010) - In vitro effects of essential oils on potential pathogens and beneficial members of the normal microbiota
- [22] Morel A, Rochaix A. (1927) - Inhibiting power of vegetable essential oils to pathogens.
- [23] Burt S.A. (2003) - Antibacterial activity of selected plant essential oils against Escherichia coli Feta Soft Cheese And Minced Beef Meat
- [24] ADEME, SYPREA, F2PE, INERIS (2007) - Base scientifique de l'évaluation des risques sanitaires relatifs aux agents pathogènes
- [25] ADEME CAREPS (2002) - ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE SUR L'ÉVALUATION DES RISQUES LIÉS AUX BIO-AÉROSOLS GÉNÉRÉS PAR LE COMPOSTAGE DES DÉCHETS
- [26] ADEME (2012) - PROGRAMME DE RECHERCHE DE L'ADEME SUR LES EMISSIONS ATMOSPHERIQUES DU COMPOSTAGE
- [27] Perrier L. (2006) - LE TRAITEMENT DES URINES, étude bibliographique, 153 pages
- [28] Murray et al (1990) –
- [29] Höglund C. (2001) - thèse Evaluation of microbial health risks associated with the reuse of source separated urine
- [30] A.Nordin, J.R. Ottoson, B. Vinnera (2009) - Sanitation of faeces from source-separating dry toilets using urea
- [31] JORF n°0234 du 9 octobre 2009 page 16464 - Arrêté du 7 septembre 2009 fixant 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
- [32] OMS (2006) - L'utilisation d'eaux usées, d'excréta et d'eaux ménagères en agriculture et en aquaculture
- [33] BROUILLARD C. (2003) - SÉLECTION DES AGENTS BIOLOGIQUES PRIORITAIRES À PRENDRE EN COMPTE DANS L'ÉVALUATION DES RISQUES LIÉS AU RETOUR AU SOL DES DÉCHETS ORGANIQUES D'ORIGINE URBAINE EN France

- [34] Pompee E. (2003) - évaluation du risques sanitaires liés à l'épandage des boues issues d'abattoirs de porcs et de volailles
- [35] Emma Roach, L. R. (2015). Sanitation paradigm shift with dry toilet solutions at music festivals in Germany. Tampere.
- [36] BRUN, F. (2014). *Gestion des matières de Toilettes Sèches Familiales: étude sur le traitement des matières par compostage*. Toilettes Du Monde.
- [37] Organisation Mondiale de la Santé (OMS). (s.d.). *L'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères*.
- [38] Norme NFU 44-095. (2002). *Composts contenant des matières d'intérêt agronomique issues de traitement des eaux*.
- [39] Norme NFU 44_051. (s.d.). *Amendements organiques - Dénominations spécifications et marquage*. AFNOR.
- [40] CCI PARIS ILE-DE-FRANCE. (2010). Disponible sur le web : <http://www.entreprises.cci-paris-idf.fr/web/environnement/eau/gerer-eau-entreprise/criteres-globaux-polluants-origine-industrielle>
- [41] Buri, R., & Schildknecht, L. (1998). *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 Management, Swiss Federal Institute of Technology.
- [42] CHARRIN, V. (s.d.). *Etude de valorisation des urines à Bangangté, Cameroun*.
- [43] EME, C., & BOUTIN, C. (2015). *Composition des eaux usées domestiques par source d'émission à l'échelle de l'habitation*. IRSTEA, ONEMA, CreaPure.
- [44] EcoSanRes. (2011). *Conseils pratiques pour une utilisation de l'urine en production agricole*.
- [45] Portail environnement de Wallonie. (s.d.). *Le compostage*. Disponible sur le web : <http://environnement.wallonie.be/education/compost/compostageentas.htm>
- [46] Francou, C. (2004). « *stabilisation de la matière org au cours du compostage de déchets urbains* ». Institut National Agronomique Paris-Grignon école doctoral abries.
- [47] MISRA, R., ROY, R., & HIRAOKA, H. (2005). *Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole*. Archives de documents de la FAO. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- [48] Koanda et al (2013). *Modalités de traitement / valorisation des résidus de Toilettes a Litière Bio- maîtrisée (TLB) par co-compostage*.
- [49] Bottineli et al (2017). Intérêt de l'analyse de résidus de toilettes sèches collectés lors d'un festival de musique électronique pour le suivi de consommation de drogues récréatives. Toxicologie analytique et clinique.

INDEX DES TABLEAUX

Tableau 1: Caractéristiques de la filière 1	49
Tableau 2: Caractéristiques des filières 2 et 3	51
Tableau 3: Agents pathogènes	65
Tableau 4: Agents infectieux mentionnés dans les textes de recommandation	66
Tableau 5: Liste des agents pathogènes qui semble pertinents à suivre	67
Tableau 6: Liste définitive des agents pathogènes à suivre	68
Tableau 7: Liste des paramètres physico-chimiques et agronomiques à suivre	68
Tableau 8: Tableau récapitulatif des différents maillons des filières suivies	68
Tableau 9: Liste définitive des agents pathogènes à suivre	71
Tableau 10: Liste des paramètres physico-chimiques et agronomiques à suivre	72
Tableau 11: Maillons ayant fait l'objet d'analyses en fonction des filières	72
Tableau 12: Catégorisation des festivals	72
Tableau 13: Identification des filières suivies	73
Tableau 14: Répartition des filières par matrice solide / liquide	73
Tableau 15: Répartition des événements par filière	74
Tableau 16: Les caractéristiques du maillon « collecte » des événements	77
Tableau 17: Caractérisation des événements	78
Tableau 18: Recommandation de dimensionnement en infrastructure	79
Tableau 19: Flux de matière sur maillon de collecte à la journée pour les événements de l'étude	79
Tableau 20: Extrapolation flux des matières sur maillon de collecte	81
Tableau 21: Recommandation de gestion des flux (matière carbonée et matières produites)	81
Tableau 22: Flux des déchets	84
Tableau 23 : Estimation du flux liquide par événement sur plate-forme non étanche	85
Tableau 24: Comparatif des volumes annuels de litière gérée par prestataire	86
Tableau 25: Grille de tri « MODECOM »	86
Tableau 26: Résultat d'analyse « MODECOM » sur maillon collecte (moyenne sur 3 cuves)	89
Tableau 27: Valeurs limites en % de MS en inertes et impuretés (NF U44_051)	90
Tableau 28: Les paramètres suivis pour les filières F1 et F2	91
Tableau 29: Les paramètres suivis pour F3 et F4	92
Tableau 30: Techniques de caractérisation physico-chimiques et microbiologiques des échantillons solides	93
Tableau 31: Répartition de l'échantillonnage par événement	95
Tableau 32: La synthèse de la liste des échantillons	96
Tableau 33: Liste des échantillons E8 et E9	98
Tableau 34: Comparaison de l'évolution de la DCO et de la DBO entre échantillons filtrés ou non	101
Tableau 35: Taux de Matière Sèche et de Cendre des échantillons analysés pour les activités respiratoires	108
Tableau 36: Taux de Matière Sèche et de Cendre des échantillons analysés pour les ARD ₂₈	112
Tableau 37: Niveaux de présence d'Aspergillus dans les MC employées (par sous-espèces)	119
Tableau 38: Liste et classes des molécules stupéfiantes étudiées	126
Tableau 39: Limites de détection des stupéfiants étudiés	126
Tableau 40: Molécules stupéfiantes retrouvées dans les différents événements étudiés	127
Tableau 41: Analyse Semi-quantificative des molécules stupéfiantes présentes dans les résidus de TS	129
Tableau 42: Echantillons analysés	130
Tableau 43: Analyse Semi-quantificative des molécules stupéfiantes présentes dans les urines – évolution des teneurs au cours du stockage	130
Tableau 44: Niveaux de danger des matières de TSM en fonction des maillons et des filières	133
Tableau 45: Dimensionnement des installations et flux de matière	134
Tableau 46: Durées de stockage recommandées associées aux types de culture.	138

INDEX DES FIGURES

Figure 1: « Descriptif des familles d'installation : toilettes sèches et traitement par compostage »	13
Figure 2: Cadre réglementaire français actuel en fonction des volumes de matières transportées et traitées [8]	15
Figure 3: Prestataires de TSM recensés dans les départements de France métropolitaine	18
Figure 4: Type de prestataire	20
Figure 5: Durée d'activité des prestataires	20
Figure 6: Zone d'intervention des prestataires	20
Figure 7: Carte représentant la localisation des enquêtés par département, leur échelle d'intervention et leur statut dans le RAE_2015	20
Figure 8: Préoccupations des prestataires	21
Figure 9: Répartition des prestataires par nombre de cabines de TLB	22
Figure 10: Urinoirs. Photographie : TLB du Rhône	22
Figure 11: Cabine en bois démontable, TLB accès PMR. Photographie : Humusséo	22
Figure 12: TLB en bois, démontable. Photographie : La case de l'Anethon	23
Figure 13: Toilettes à séparation à la source sur roulettes. Photographie : Florent Brun	23
Figure 14: Cabines TLB et urinoirs en tissu, démontables. Photographie : Les Gandousiers	23
Figure 15: Services inclus dans la prestation de base	24
Figure 16: Équipements mis à disposition sur site	24
Figure 17: Type et nombre d'évènement	25
Figure 18: Évènement sportif. Photographie : Aquaterre	26
Figure 19: Festival. Photographie : Ecolette	26
Figure 20: Évènement culturel. Photographie : TLB du Rhône	26
Figure 21: Évènement culturel. Photographie : Toilettes du Monde	26
Figure 22: Festival. Photographie : Les copeaux d'abord	26
Figure 23: Nombre de personnes présentes sur site	27
Figure 24: Panneaux explicatifs. Photographie : Les Gandousiers	27
Figure 25: Animation autour des TSM. Photographie : Aquaterre	27
Figure 26: Type de résidus issus des TSM (Collecte)	28
Figure 27: Excrétas + litières (à gauche) ; urine (à droite). Photographie : Toilettes du Monde	28
Figure 28 : Type de résidus issus des TSM	29
Figure 29 : Matières ajoutées a posteriori aux résidus de TSM	30
Figure 30: Réceptacle excréta (poubelle en plastique). Photographie : Toilettes du Monde	30
Figure 31 : Type de réceptacle pour les urines	30
Figure 32 : Stockage temporaire des résidus	31
Figure 33 : Fréquence de vidange	31
Figure 34 : Personne en charge de l'entretien sur site	32
Figure 35 : Fréquence de nettoyage des cabines	32
Figure 36 : Produits utilisés pour le nettoyage	33
Figure 37 : Type de lave main	33
Figure 38 : Provenance de l'eau	33
Figure 39: Mesures d'hygiène autour des TSM. Photographie Aquaterre (à gauche), Les Gandousiers (à droite)	34
Figure 40 : Mode de transport selon le type de résidus	34
Figure 41: Transports des résidus. Photographie : web (à gauche) ; Chlorophylle (à droite)	35
Figure 42 : Volume de résidus transportés	35
Figure 43 : Distance parcourue avec les résidus	35
Figure 44 : Mode de gestion des excréta issus des TSM	36
Figure 45: Mode de traitement selon le type de résidus	37
Figure 46 : Temps de traitement par compostage	37
Figure 47: Aire de compostage des TSM. Photographie : Chlorophylle	38
Figure 48 : Type de valorisation pour les matières « excréta + litières » traitées	38
Figure 49 : Utilisation des urines	39
Figure 50 : Mode de valorisation selon le type de résidus	39
Figure 51 : Profil des commanditaires	40
Figure 52 : Profil des évènements couverts par les commanditaires	40
Figure 53 : Nombre d'évènements	40
Figure 54 : Durée des évènements	40
Figure 55 : Nombre de participants aux évènements recensés	41



Figure 56 : Provenance des TSM utilisées	42
Figure 57 : Type de gestion des matières effectuée par les commanditaires	42
Figure 58 : Les attentes des commanditaires vis-à-vis de l'emploi des TSM	42
Figure 59 : La perception du risque environnemental des TSM par les commanditaires	43
Figure 60 : La connaissance du prestataire par le commanditaire	43
Figure 61 : Type de personnel responsable de la gestion des TSM	44
Figure 62 : Répartition du nombre de cabine moyen louée pour un évènement	44
Figure 63 : Type de réceptacle de stockage des matières	45
Figure 64 : Pratiques réalisées sur les matières collectées	45
Figure 65 : Type de dispositif de lavage des mains	46
Figure 66 : Appartenance du véhicule de transport des matières	46
Figure 67 : Type de véhicule de transport des matières	47
Figure 68 : Traitement et valorisation des matières	47
Figure 69 : Traitement et valorisation des urines pures	48
Figure 70: Schéma global des maillons définis	55
Figure 71: Schéma d'exposition pour le maillon « collecte »	56
Figure 72: Type de produit utilisé pour le nettoyage des cabines	56
Figure 73: Schéma conceptuel pour le maillon « collecte » des matières fraîches	58
Figure 74: Schéma conceptuel pour le maillon « transport » des matières fraîches dans le cas d'un véhicule utilitaire (pas de séparation avec l'habitacle)	58
Figure 75: Schéma conceptuel pour le maillon « transport » des matières fraîches dans le cas d'un camion (séparation avec l'habitacle)	59
Figure 76: Schéma conceptuel pour le maillon « traitement » des urines	59
Figure 77: Graphiques des moyennes de températures de 2014 pour les régions du Nord de la France (à gauche Ile-de-France et à droite Bretagne)	60
Figure 78: Graphiques des moyennes de températures de 2014 pour les régions du Sud de la France (à gauche Midi-Pyrénées et à droite Provence-Alpes Côte d'Azur)	61
Figure 79: Schéma conceptuel pour le maillon « traitement » des matières fécales sur une plate-forme autonome non étanche	62
Figure 80: Schéma conceptuel pour le maillon « traitement » des matières fécales sur une plate-forme collective autorisée étanche	62
Figure 81 : Schéma conceptuel pour le maillon « valorisation » des matières traitées	63
Figure 82 : Suggestion de l'équipement de l'opérateur	64
Figure 83: Enquête de perception des risques sanitaires sur E1	77
Figure 84: Utilisation de la matière carbonée	80
Figure 85: Utilisation de la matière carbonée E1/F3 en gobelet	80
Figure 86: Génération de lixiviat sur F3	84
Figure 87: F2/L3 urinoir+matière carbonée	87
Figure 88: F2/L1 urinoir+matière carbonée	87
Figure 89: F1/L2 urinoir pour urine pure	87
Figure 90: F1/L4 urinoir pour urine pure	87
Figure 91: F4/L2 cabine pour excréta+litière	88
Figure 92: F4/L4 cabine pour excréta+litière	88
Figure 93: Représentation du matériel préconisé lors des prélèvements	94
Figure 94: Prélèvements réalisés sur E1	94
Figure 95: Itinéraire prélèvements E8	96
Figure 96: Itinéraire prélèvements E9	96
Figure 97: Comparaison de l'évolution du pH de l'urine (F1 et F2)	99
Figure 98: L'évolution des Matières en Suspension (F1)	100
Figure 99: L'évolution des Matières en Suspension (F2)	100
Figure 100: L'évolution de la DCO (F1 et F2)	100
Figure 101: L'évolution de la DBO ₅ (F1 et F2)	100
Figure 102: L'évolution du ratio DCO/DBO ₅	100
Figure 103 : Évolution de la DBO sur les différents événements en fonction de la durée d'incubation	102
Figure 104: L'évolution de NTK de F1 et F2	103
Figure 105: L'évolution de NH ₄ ⁺ de F1 et F2	104
Figure 106: L'évolution du ratio de NH ₄ /NTK	104
Figure 107: L'évolution de phosphate de F1 et F2	105
Figure 108: L'évolution du ratio DBO ₅ /N	106
Figure 109: L'évolution du ratio N/P	106



Figure 110: Comparatif des résultats pour le paramètre E.coli de F1 et F2	107
Figure 111: Comparatif des résultats pour le paramètre Entérocoque de F1 et F2	107
Figure 112: Activité respiratoire en conditions statique d'aération (ARS). Suivi de la consommation d'O2 sur 28 jours d'incubation	109
Figure 113: Activité respiratoire en conditions Dynamiques d'aération (ARD). Suivi de la consommation d'O2 et de la production de CO2 sur 28 jours d'incubation.	111
Figure 114: Suivis des températures au cours du compostage	114
Figure 115: L'évolution de pH des matières bruts de F3 et F4	115
Figure 116: Evolution de l'Humidité	115
Figure 117: L'évolution de NTK des M.B. de F3 et F4 (valeurs d'E2+E3 issues des ordonnées de droite)	116
Figure 118: Comparaison de l'évolution du taux de MO des M.B.	117
Figure 119: Comparaison de l'évolution de carbone des M.B.	117
Figure 120: L'évolution du rapport MO/C	118
Figure 121: Evolution des ratios C/N	119
Figure 122: Comparaison des concentrations en E.coli (matières fraîches, déchets verts et mélange des 2)	121
Figure 123: Comparaison des concentrations en Entérocoques (matières fraîches, déchets verts et mélange des 2)	121
Figure 124: Comparaison des concentrations en ASR 37°C (UFC/g) (matières fraîches, déchets verts et mélange des 2)	121
Figure 125: Comparaison des concentrations en ASR 37°C (spores/g) (matières fraîches, déchets verts et mélange des 2)	121
Figure 126: Comparaison des concentrations en C. perfringens. (UFC/g) (matières fraîches, déchets verts et mélange des 2)	121
Figure 127: Comparaison des concentrations en C. perfringens (spores/g) (matières fraîches, déchets verts et mélange des 2)	121
Figure 128 : Évolution d'E.coli pour F3 et F4	122
Figure 129 : Évolution d'Entérocoque pour F3 et F4	122
Figure 130: Évolution de C. perfringens (UFC/g) de F3 et F4	123
Figure 131: Évolution de C. perfringens (spores/g) de F3 et F4	124
Figure 132: Évolution des ASR 37°C (UFC/g) de F1 et F2	124
Figure 133: Évolution des ASR 37°C (spore/g) de F3 et F4	125
Figure 134: Préparation et description des échantillons à analyser (« Urine », « Lixiviat » et « Sciure »), échantillons initiaux.	127

SIGLES ET ACRONYMES

AC : Assainissement Collectif
ANC : Assainissement Non Collectif
ANSES : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
ASR : 37°C : Anaérobies SulfiteRéducteurs à 37°C
CTO : Composés Trace Organiques
DEEP : Laboratoire Déchets, Eau, Environnement et Pollution (INSA de Lyon)
DV : Déchets Verts (utilisé comme co-compost sur la plate-forme : paille, litière de volaille, déchets de potager et coupe/taille de DV)
EPI : Equipement de Protection Individuel
ERU : Eaux Résiduaires Urbaines
ETM : Éléments Trace Métalliques
F1 : filière urine pure
F2 : filière urine + matière carbonée
F3 : filière excréta + matière carbonée sur plate-forme individuelle non étanche
F4 : filière excréta + matière carbonée sur plate-forme collective (privée ou publique) étanche
IBC : International Box Conteneur – modèle de cuve utilisée par les prestataires pour le transport des matières de TSM.
ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
INRS : Institut National de Recherche et de Sécurité
ISDND : Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux
MB : Matière Brut
MC : Matière Carbonée (utilisée pendant l'événement : sciure, copeau, paille broyée et copeau dépoussiéré ici)
MIATE : Matière d'Intérêt Agronomique issue du Traitement des Eaux.
MO : Matière Organique
MODECOM : Méthode de Caractérisation des Ordures Ménagères
MP : MicroPolluant
OMR : Ordures Ménagères Résiduelles
OMS : Organisation Mondiale de la Santé
ONEMA : Office national de l'eau et des milieux aquatiques
OCAPI : Optimisation des cycles carbone, azote et phosphore en ville
PL : Véhicule Poids Lourd
PMR : Personne à Mobilité Réduite
RAE : Réseau de l'Assainissement Ecologique
RSD : Règlement Sanitaire Départemental
SA : Société Anonyme
SCOP : Société Coopérative et Participative
STEP : Station d'Épuration
TDM : Toilettes Du Monde
TLB : Toilette à Litière Biomérisée
TS : Toilette Sèche
TSM : Toilette Sèche Mobile
VL : Véhicule léger
VU : Véhicule utilitaire

GLOSSAIRE

Aérobic : Se dit d'un processus qui se réalise en présence d'oxygène.

Aire de compostage : un espace aménagé sur une parcelle pour la collecte des matières de toilette sèche ou autres matières organiques compostables dans l'objectif d'assainir et d'en produire un compost. 2 types d'aire de compostage sont mentionnées ici, les aires individuelles (chez un prestataire de TSM) et les aires collectives (publique ou privée).

Capacité au champ : correspond à la masse d'eau pouvant être retenue par capillarité dans une masse donnée de matériau en condition de drainage libre.

Compost : produit issu d'un procédé de compostage.

Compostage : procédé biologique aérobie avec montée en température permettant l'hygiénisation et la stabilisation par dégradation / réorganisation de la matière organique (oxydation biologique avec dégagement de chaleur) conduisant à l'obtention d'un compost.

Déchets verts : ou co-compostés, il s'agit de la matière organique ou carbonée utilisée sur l'aire de compostage en mélange aux produits de TSM.

Excréments : ils correspondent à l'urine et aux fèces produits par le corps humain. Ils sont collectés dans le ou les récipients de collecte étanche de la toilette ou de l'urinoir et mélangés à une matière carbonée (voir ci-dessous) pour les fèces et peut être gardé brut pour l'urine.

Germe pathogène : se dit d'un agent biologique (germe, bactérie, ...) qui engendre une maladie.

Humus : une terre formée par la décomposition des végétaux par l'action des bactéries et champignons. C'est cette matière organique de décomposition complexe qui donne de la stabilité aux sols agricoles.

Hygiénisation : vise à réduire à des taux acceptables les concentrations en agents pathogènes.

Indicateur de contamination fécale : il s'agit de bactéries qui permettent d'indiquer la présence de germes pathogènes – qui sont souvent peu nombreux dans le milieu ou difficiles à détecter. Les indicateurs de contamination fécale sont mis en évidence par des techniques rapides, simples, fiables et peu onéreuses, en plus grand nombre que les pathogènes, ont une résistance similaire aux pathogènes.

Litière/matière carbonée : additif utilisé au niveau de la toilette comme matière couvrante ajoutée après défécation / vidange, riche en carbone et de composition variée : copeaux, sciure, broyat, paille. Au niveau des aires de compostage, il s'agit de déchets verts (voir ci-dessus).

Lixiviats : liquide récupéré à la base du composteur après percolation à travers le compost.

Matières fécales (ou fèces) : Elles sont les résidus de digestion, composées à plus de 75% d'eau et 90% (en poids sec) de matières organiques, principalement du carbone. Cette fraction des excréments contient la quasi-totalité de la charge microbienne, la majeure partie des micro-organismes est non pathogène.

Matière organique : substances et composés carbonés d'origine végétale et animale.

Réceptacle : cuve ou autre contenant (seau, poubelle, IBC, etc.), généralement installé sous le siège d'une toilette sèche, assurant la collecte des matières (fèces, matières sèches) et parfois des urines.

Paramètres et indicateurs (physique, chimique, microbiologique et agronomique)

Batch : traitement par lots ou piles cumulés.

$\frac{C}{N}$: Le rapport Carbone sur Azote est un indicateur qui permet de juger l'aptitude de décomposition plus ou moins rapide de la matière organique dans le sol.

DBO₅ : la demande biologique/biochimique en Oxygène, calculée après 5 jours, réfère à la matière organique (fraction biodégradable) présente de la charge polluante.

DCO : la demande chimique en Oxygène correspond à l'analyse de la consommation d'O₂ nécessaire pour oxyder la totalité de la charge polluante (substances organiques et minérales).

DCO/DBO₅ : Ce rapport donne une indication sur l'origine de la pollution organique. Ainsi des exemples de valeurs sont une eau résiduaire brute : = 2,5 ; une eau épurée : 11 et plus il se rapproche de 1, plus le rapport, indique la biodégradabilité d'un rejet d'eaux usées à savoir : de 1,5 à 2 : effluents d'industries agroalimentaires (meilleure biodégradabilité) ; de 2 à 3 : effluent urbain domestique et >3 : effluent plus ou moins difficilement biodégradable (industrie).

MES : la matière en suspension est l'ensemble des matières solides insolubles, décantables présent dans un liquide.

NH₃ : l'Ammoniaque, composé transitoire entre l'azote organique et l'azote nitrique, il est relativement stable et peut être toxique.

NH₄⁺ : l'ion Ammonium, forme absorbée par les plantes et retrouvée initialement dans le compost (car pH faible).

NTK : Azote total Khejdal (N-organique et N-NH₃) présent dans la matière et pouvant être dégradé par les bactéries.

NH₄⁺/NTK : Ce rapport permet d'estimer la part d'azote ammoniacale sur l'azote totale.

N/P : Ce rapport permet d'apprécier l'équilibre agronomique de la matière. À titre de comparaison DBO₅ :N :P doit être de 100 :5 :1

DBO₅/N et DBO₅/P : Ces rapports permettent d'estimer la part en composés carbonés pour que la dénitrification et la déphosphitisation puissent se faire en bonne proportion pour une optimisation des performances épuratoires.

NO₂⁻ : l'ion Nitrite, composé intermédiaire (instable, polluant et toxique) de la nitrification.

NO₃⁻ : l'ion Nitrate est la forme la plus facilement assimilable de l'Azote par les plantes, très soluble et mobile ; en abondance il provoque par lessivage l'eutrophisation des cours d'eau.

K₂O : Oxyde de Potassium, résultat exprimant le Potassium totale présent dans le compost, nutriment majeur indispensable au développement de la plante.

MO : matière organique, élément décomposé par les micro-organismes en présence d'Oxygène qui la transforment en éléments simples dont s'alimentent les végétaux.

MS : matière sèche, résultant du séchage de la MO et MM des boues. Indicateur de réduction du volume du compost, elle renferme la plupart des éléments nutritifs utiles aux plantes, notamment l'azote, le Phosphore et le Potassium.

P₂O₅ : Pentoxyde de Phosphore, résultat correspondant au Phosphore totale présent dans le compost, nutriment indispensable au développement d'une plante. En excès, cet élément peut provoquer l'eutrophisation des eaux.

C. perfringens est une bactérie anaérobie. Elle est utilisée comme indicateur d'efficacité du traitement, en raison de sa forte résistance (en particulier à la chaleur) en conditions défavorables (formes sporulées) et de l'absence de possibilité de re-contamination.

E. coli est une bactérie indicatrice de contamination fécale récente. C'est un germe habituellement présent dans la flore intestinale des animaux et des hommes, qui se développe dans les matières fécales.

Entérocoque est une bactérie opportuniste, indicatrice de contamination fécale ancienne (car plus résistante aux agents désinfectants et aux conditions environnementales que les coliformes). Indicateurs privilégiés pour évaluer l'efficacité d'un traitement contre les pathogènes.

Œufs d'helminthes sont des œufs de vers parasites, parfois responsables de mortalité chez l'Homme dans les pays en développement. Dans les pays développés, ils peuvent être responsables d'infestations parasitaires à forte répercussion sur la santé. Ils résistent à la plupart des traitements physiques, se développent généralement si le milieu est trop humide, frais et ombragé (seul le pH alcalin élevé permet leur élimination) »

Salmonelle est un pathogène bactériophage et thermorésistant (fréquemment retrouvé dans les matières fécales). Souvent utilisé comme traceur pour déterminer la source de contamination fécale et pour des études d'inactivation dans des systèmes de compostage de liquide et des latrines. Il s'agit de bactéries qui sont rapidement inactivées si le milieu est assez sec.

TABLES DES ANNEXES

Annexe 1 : Questionnaires pour l'état des lieux des pratiques :

- 1a : Questionnaire prestataire
- 1b : Questionnaire commanditaire
- 1c : Questionnaire prestataire complément

Annexe 2 : Synthèse bibliographique : Réglementations sur la gestion des matières de Toilettes Sèches dans le monde

Annexe 3 : Rapport sur la perception des risques sanitaires des usagers de toilettes sèches mobiles

Annexe 4 : Protocole d'échantillonnage Ex

Annexe 5 : Set d'outils de communication

- 5a : Poster A3 à destination des usagers
- 5b : Plaquette commanditaires
- 5c : Plaquette prestataires

L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale.

L'Agence aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer et du ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.





CARACTERISATION DES MATIERES ISSUES DES TOILETTES SECHES MOBILES ET DES RISQUES SANITAIRES DES FILIERES D'ASSAINISSEMENT ASSOCIEES

Résumé

Cette étude sur la caractérisation des matières issues des toilettes sèches mobiles est décomposée en plusieurs parties. La première phase d'état des lieux a permis d'identifier les multiples pratiques de gestion des matières de toilettes sèches mobiles qui ne sont pas encadrées bien que la France reste un pays pionnier dans la gestion des excréta grâce à la réglementation ANC.

Une analyse sanitaire grâce des schémas d'exposition et une enquête sur la perception des risques sanitaires auprès des usagers et organisateurs a permis de (i) définir le cadre de la caractérisation des filières en terme d'impact et de (ii) démontre la prise de conscience de risques sanitaires potentiels.

La caractérisation des différents flux de matières générées par les toilettes sèches mobiles a permis d'émettre des recommandations à chaque maillons des 4 filières d'assainissement les plus représentatives. Au niveau du traitement et de la valorisation par les prestataires, les recommandations se basent sur l'approche de la réglementation existante en ANC avec une garantie de bonnes pratiques grâce au module de formation GC 25 du référentiel ADEME. L'autre filière d'avenir à ne pas négliger et qui doit être largement plébiscité par les institutions est le traitement en plate-forme de compostage collective qui garantit la normalisation des pratiques et des composts produits avec une approche de commercialisation des matières

Essentiel à retenir

Deux résultats principaux ressortent de cette étude concernant le traitement des matières de toilettes sèches mobiles: il n'y pas de contraintes concernant le compostage sur une plate-forme individuelle cependant il est recommandé de posséder les compétences relatives au compostage grâce à la formation du module GC 25 du référentiel ADEME. Néanmoins, l'absence d'un code déchets unique pour ces matières freine leur acception sur des plates-formes de compostage collectives qui reste une filière de traitement en devenir pour un passage à grande échelle.

