

# 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 + litière<sup>28</sup>
- 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

<b>Bactéries</b>	<i>E. coli</i> $\beta$ glucuronidase positive
	Entérocoques intestinaux
	<i>Salmonelles</i>
	<i>C. perfringens</i>
<b>Virus</b>	Hépatite A (HAV)
<b>Moisissures</b>	<i>Aspergillus fumigatus</i>
<b>Helminthes</b>	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.

<sup>28</sup> 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, $\text{NO}_3^-$ , $\text{NO}_2^-$ , $\text{NH}_4^+$ /NTK, $(\text{PO}_4)^{3-}$
Paramètres agronomiques	C/N
	$\text{N}_{\text{total}}$ , $\text{N}_{\text{organique}}$
	% MB de Phosphore (en $\text{P}_2\text{O}_5$ )
	% de MB de Potassium (en $\text{K}_2\text{O}$ )
	% 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

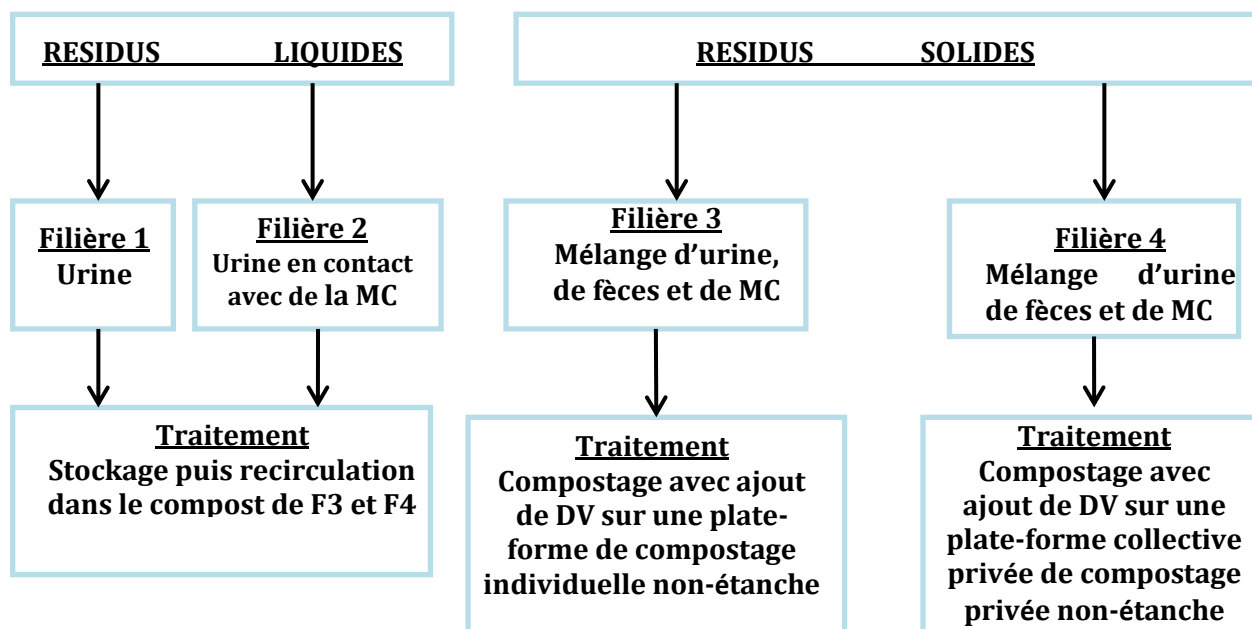
### 1.2.2. Définition des filières

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
<b>Filière 1</b>	Urine pure	Cuve IBC 1000L	VU, PL	Stockage	Epandage sur culture non alimentaire ou sur compost
<b>Filière 2</b>	Urine + litière	Bidons 200 L	Rejoint la filière 3		
<b>Filière 3</b>	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
<b>Filière 4</b>	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

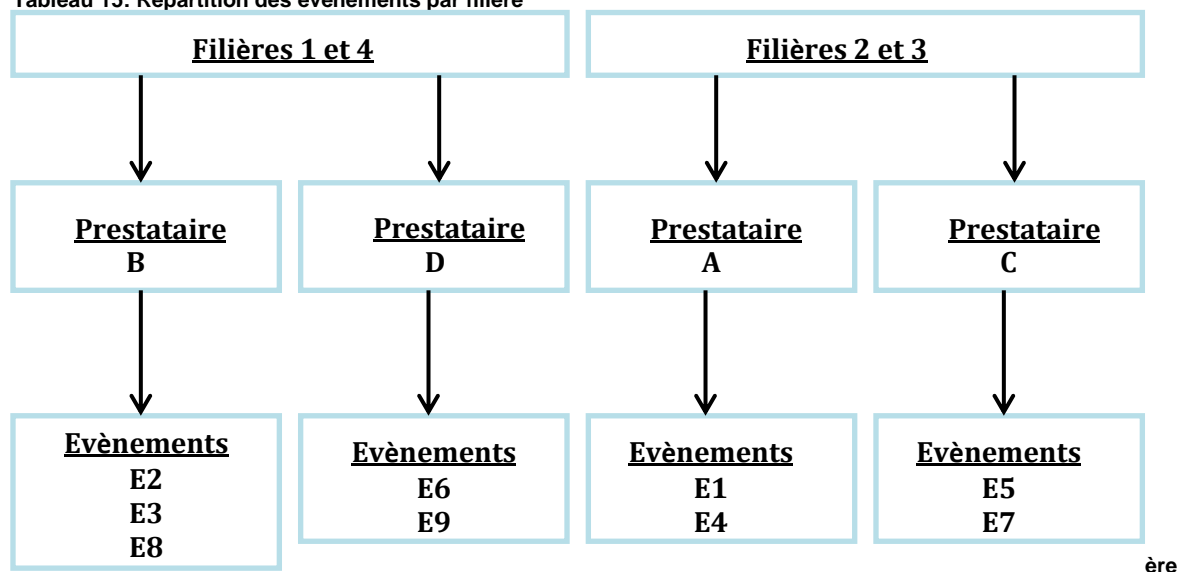
Tableau 14: Répartition des filières par matrice solide / liquide



### 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 OCAP<sup>29</sup> 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 jour<sup>30</sup>. 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

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

<sup>30</sup> 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



<b>E6</b>	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
<b>Petit (1 à 999 pers/jour)</b>	<b>Soft</b> (86%)	<b>Foire</b> (43%), Mariage (29%), Sport (29%)	0,3	2	0,1	1
<b>Moyen (1000 à 3000 pers/jour)</b>	Soft (36%) et <b>Medium</b> (56%)	<b>Festival "classique"</b> (57%), Foire (14%), Sport (14%)	4	6	0,6	4
<b>Grand (3001 et plus pers/jour)</b>	Medium (43%) et <b>Hard</b> (57%)	<b>Festival "classique"</b> (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
<b>Petit (1 à 999 pers/jour)</b>	1	2	1
<b>Moyen (1000 à 3000 pers/jour)</b>	4	5	1
<b>Grand (3001 et plus pers/jour)</b>	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
<b>E1</b>	6000	Sciure tout venant 95% copeaux et paille broyée 5%	1 m <sup>3</sup> de paille (pour urinoirs et litière dans cuves) 1 m <sup>3</sup> de copeaux (pour les cabines)	F2= 1,2 m <sup>3</sup> F3= 1,6 m <sup>3</sup>
<b>E2</b>	9000	Copeau industriel dépeussieré	2 m <sup>3</sup>	F1= 2,2 m <sup>3</sup> F4= 3,2 m <sup>3</sup>
<b>E3</b>	3000	Copeau industriel dépeussieré	0,5 m <sup>3</sup>	F1= 0,4 m <sup>3</sup> F4= 0,8 m <sup>3</sup>
<b>E4</b>	600	95% copeaux, 5% paille broyée	0,5 m <sup>3</sup>	F2= 0,8 m <sup>3</sup> F3= 1,6 m <sup>3</sup>
<b>E5</b>	1500	Mélange sciure copeaux	0.35 m <sup>3</sup>	F2= 0,2 m <sup>3</sup> F3= 0,3 m <sup>3</sup>
<b>E6</b>	10000	Mélange sciure copeaux	3 m <sup>3</sup>	F1= 1 m <sup>3</sup> F4= 3,1 m <sup>3</sup>

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 <sup>3</sup> )	Vol moy Urine (m <sup>3</sup> )	Vol moy Total collecté (m <sup>3</sup> )
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 <sup>3</sup> )	Vol d'urine à collecter (m <sup>3</sup> )	Vol de matière produite (m <sup>3</sup> )
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 <sup>3</sup> plus 0.5 m <sup>3</sup> pt1000	Au moins 1.5 m <sup>3</sup> plus 0.25 m <sup>3</sup> pt1000	Au moins 4 m <sup>3</sup> plus 1 m <sup>3</sup> 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 <sup>3</sup>	Paille 15 m <sup>3</sup>	2,7/1
E2	Non		9,6 m <sup>3</sup>	Litière de volaille 150 m <sup>3</sup>	14,4/1
E3	Non		0,8 m <sup>3</sup>		
E4	Oui, épluchures et restes de cuisine	100L	3,2 m <sup>3</sup>	Paille 15 m <sup>3</sup>	4,7/1
E5	Non		1,5 m <sup>3</sup>	Déchets de potager 3 m <sup>3</sup>	2/1
E6	Oui, épluchures et restes de cuisine et la vaisselle compostable	1 à 3 m <sup>3</sup>	9,3 m <sup>3</sup>	Déchets verts communaux (taille) 120 m <sup>3</sup>	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 m<sup>3</sup> 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 <sup>3</sup>	9 m <sup>2</sup>	>155 mm/h
E4	1.76 m <sup>3</sup>	6 m <sup>2</sup>	>146 mm/h
E5	0.825 m <sup>3</sup>	2 m <sup>2</sup>	>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 « arrosage<sup>31</sup> » 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.

---

<sup>31</sup> 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 <sup>32</sup>
L1	75	0,41
L2	150	0,82
L3	20	0,11
L4	150	0,82

La corrélation de ces flux avec la réglementation ICPE<sup>33</sup> 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 MODECOM<sup>34</sup>. 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
<b>Déchets fermentescibles</b>	Excrément Bio déchets de cuisine	Déchet alimentaire Excrétas
<b>Papiers</b>	Papier hygiénique Emballage papier	Papier toilette Papier mouchoir Essuie mains Tract
<b>Cartons</b>	Autres cartons	Rouleau de papier hygiénique
<b>Textiles</b>	Textiles	Mouchoir
<b>Textiles sanitaires</b>	Fractions hygiénique Fraction papier souillés	Lingette de nettoyage Tampon Serviette hygiénique Couche
<b>Plastiques</b>	Bouteilles et flacons PEHT ou PEHD Autres plastiques	Bouteille et flacons PEHT ou PEHD Verre plastique Sac plastique Emballage alimentaire Film souple
<b>Verres</b>	Emballages verre	Bouteille en verre
<b>Métaux</b>	Métaux ferreux Métaux non ferreux	Canette

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

<sup>33</sup> 2 780 : Compostage de déchets non dangereux ou matière végétale

<sup>34</sup> <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) « pleines<sup>35</sup> » (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).

<sup>35</sup> 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+litière



Figure 92: F4/L4 cabine pour excréta+litière

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	
Récipient 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 <sub>5</sub>	mg/l	NF EN 1899-1	
		DCO	mg/l	NFT 90101	
	Azote	Nitrites NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/l	NF EN ISO 13395	
		Nitrates NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	NF EN ISO 10304-1	
		Azote ammoniacal NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/l	NFT 90-015-1	



		Azote Kjeldahl NTK	mg/l	NF EN 25663	> 3%	≈ 5 g/l <sup>36</sup>
	<b>Minéralisation</b>	Potassium K <sub>2</sub> O		NF EN ISO 11885	> 3%	≈ 1,5 g/l
	<b>Phosphore</b>	Phosphates PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	mg/l	NF EN ISO 10304-1		
		Phosphore total PT		NF EN ISO 11885	> 3%	≈ 0,5 g/l
<b>Essais microbiologique</b>	<b>Parasitologie de l'environnement</b>	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		
	<b>Bactériologie alimentaire</b>	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
<b>Essais environnementaux</b>	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% <sup>37</sup> M.B	≥ 20% <sup>38</sup> M.B. ≥ 30% sur MS
	NTK	mg/l	NF EN 25663	<3%	<3%
	K <sub>2</sub> O	mg/l	NF EN ISO 11885	<3%	<3%
Phosphore total	mg/l	NF EN ISO 10304-1	<3% <sup>39</sup>	<3%	
<b>Essais microbiologiques</b>	<b>Parasitologie de l'Environnement</b>	Œufs d'helminthes parasites /1,5g M.S.		FD X33-040	Absence dans 1g de M.B.* (Absence dans 25g de M.B.**)

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

<sup>37</sup> MO stable = C organique stable \*2 où C organique stable = C organique – C minéralisé

<sup>38</sup> MO stable = C organique stable \*2 où C organique stable = C organique – C minéralisé

<sup>39</sup> La somme N+P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+K<sub>2</sub>O 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.**
<b>Bactériologie alimentaire</b>		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 <sup>4</sup> /g M.B.	10 <sup>5</sup> /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 <sup>2</sup> /g MB	10 <sup>4</sup> /g M.B.* (10 <sup>3</sup> /g M.B.**)
		<i>C. perfringens</i>	UFC/g	NF EN ISO 7937	-	10 <sup>3</sup> /g M.B.* (10 <sup>2</sup> /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	-	-
	<b>Essais de virologie</b>		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 <sub>2</sub> /L
Demande biologique en Oxygène (DBO <sub>28</sub> )	Méthode DEEP INSA-Lyon selon procédure OCDE 301	mg O <sub>2</sub> /L
Activité Respiratoire en condition Statique d'aération (ARS)	Méthode DEEP INSA-Lyon selon la Ligne directrice 304A de l'OCDE	mgO <sub>2</sub> /g <sub>MS</sub>
Activité Respiratoire en condition Dynamique d'aération (ARD)	Méthode DEEP INSA-Lyon	mgO <sub>2</sub> /g <sub>MS</sub>

### 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
<b>E1</b>	X	X	
<b>E2</b>	X	X	
<b>E3</b>	X	X	
<b>E4</b>		X	X
<b>E5</b>	X		X
<b>E6</b>			X
<b>E7</b>			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

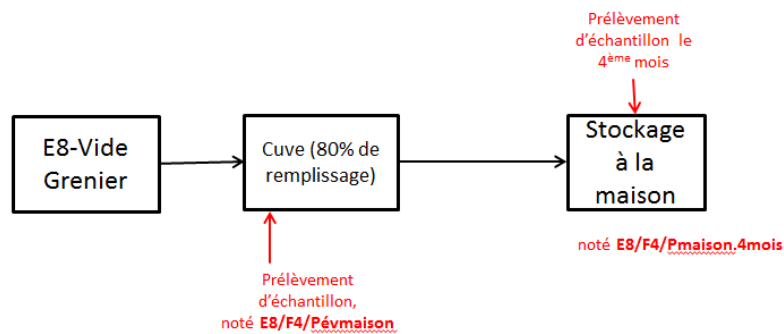


Figure 95: Itinéraire prélèvements E8

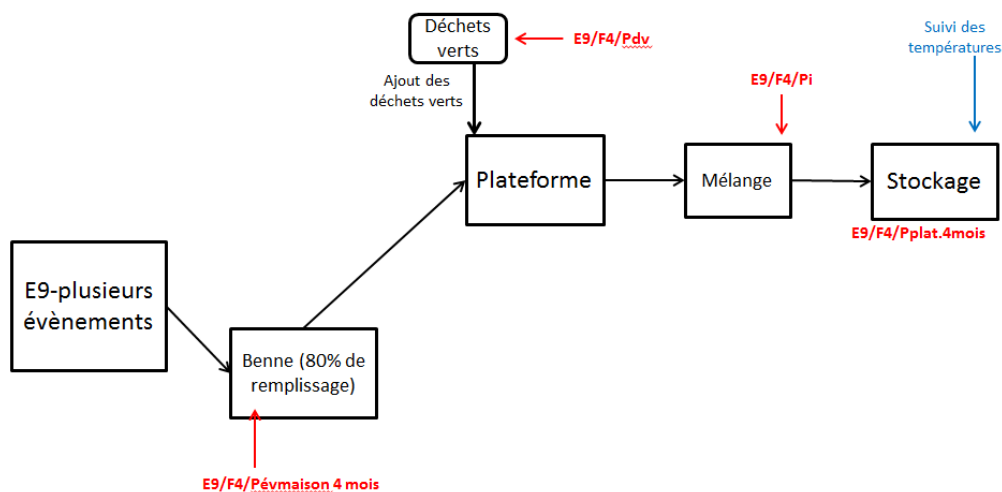


Figure 96: Itinéraire prélèvements E9

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		
			E6	Medium	Ev concert	E6/F1/Concert/PEV
					Ev camping	E6/F1/Camping/PEV
					3 mois	E6/F1/P3
	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 <sup>40</sup>	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 <sup>41</sup>	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			

<sup>40</sup> Ei : Le mélange des matières et des déchets verts.

<sup>41</sup> 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

<sup>42</sup> 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 P<sub>0</sub> montrent que l'hydrolyse de l'urée n'est pas systématique.

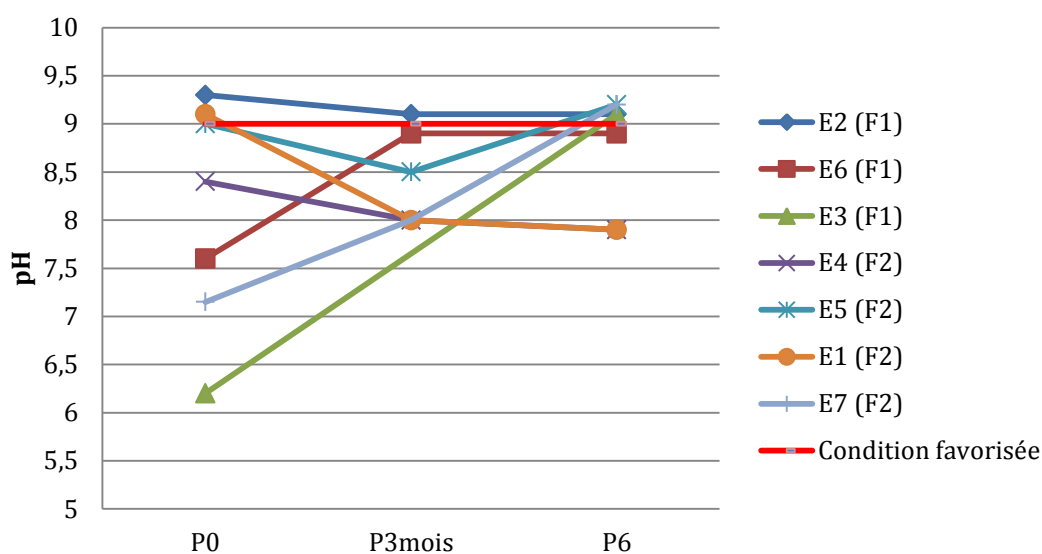


Figure 97: Comparaison de l'évolution du pH de l'urine (F1 et F2)

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.

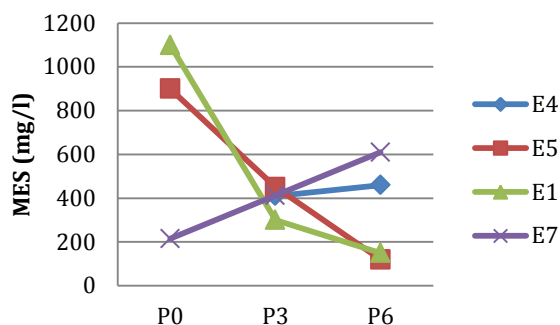
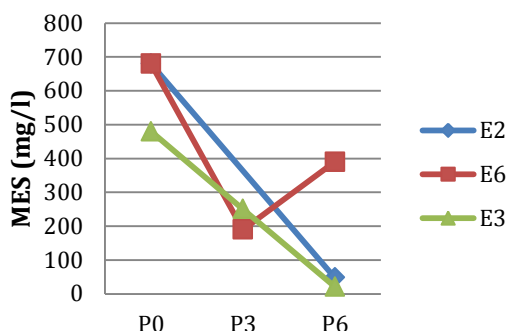


Figure 98: L'évolution des Matières en Suspension (F1) Figure 99: L'évolution des Matières en Suspension (F2)

### ❖ 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 (DBO<sub>5</sub>) 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/DBO<sub>5</sub> 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.

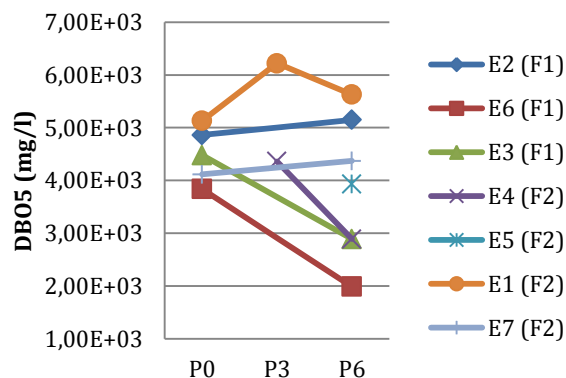
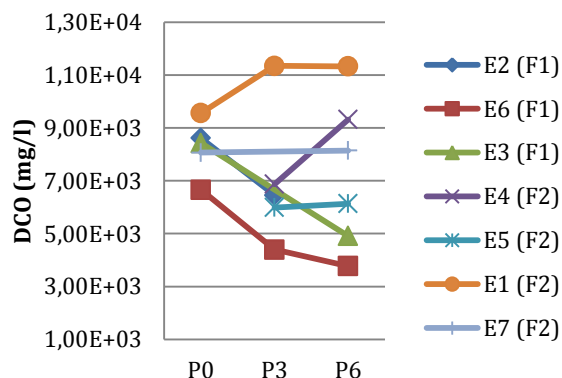


Figure 100: L'évolution de la DCO (F1 et F2)

Figure 101: L'évolution de la DBO<sub>5</sub> (F1 et F2)

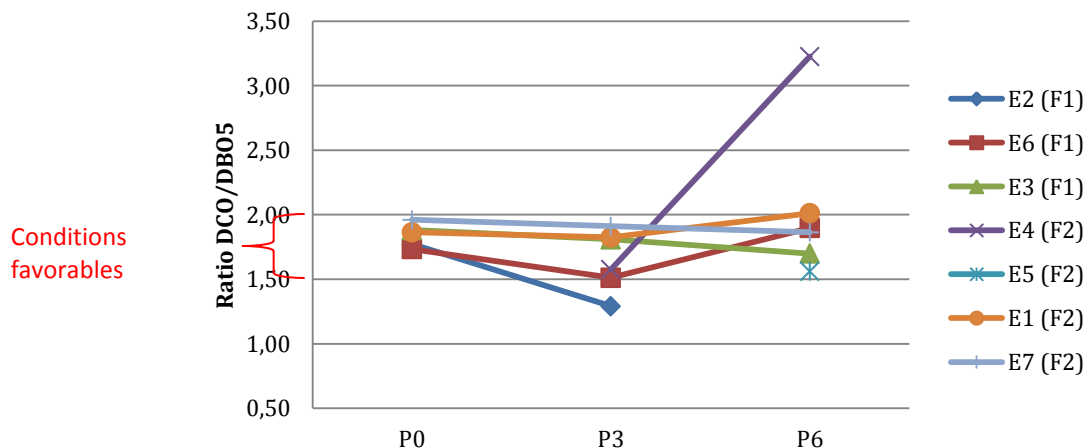


Figure 102: L'évolution du ratio DCO/DBO<sub>5</sub>

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 DBO<sub>5</sub>, 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 DBO<sub>5</sub>. Aucune tendance n'est décelable. À l'exception d'un point « bizarre » sur E4, le ratio DCO/DBO<sub>5</sub> 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, E7<sup>43</sup>) 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 DBO<sub>5</sub> et DBO<sub>28</sub> sur liquides non filtrés : mesure de la biodégradabilité de la charge organique total (également à comparer avec DBO<sub>5</sub> 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 <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> )	% bioconv	DCO (mg/L)	DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> )	% bioconv	DBO <sub>28</sub> (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 <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> )	% bioconv	DCO (mg/L)	DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> )	% bioconv	DBO <sub>28</sub> (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 DBO<sub>5</sub>, globalement tendance à obtenir des taux de consommation d'oxygène plus faibles sur échantillons non filtrés (DBO<sub>5</sub> plus faibles).

<sup>43</sup> Les échantillons collectés pour E5 ont été perdus par Chronopost



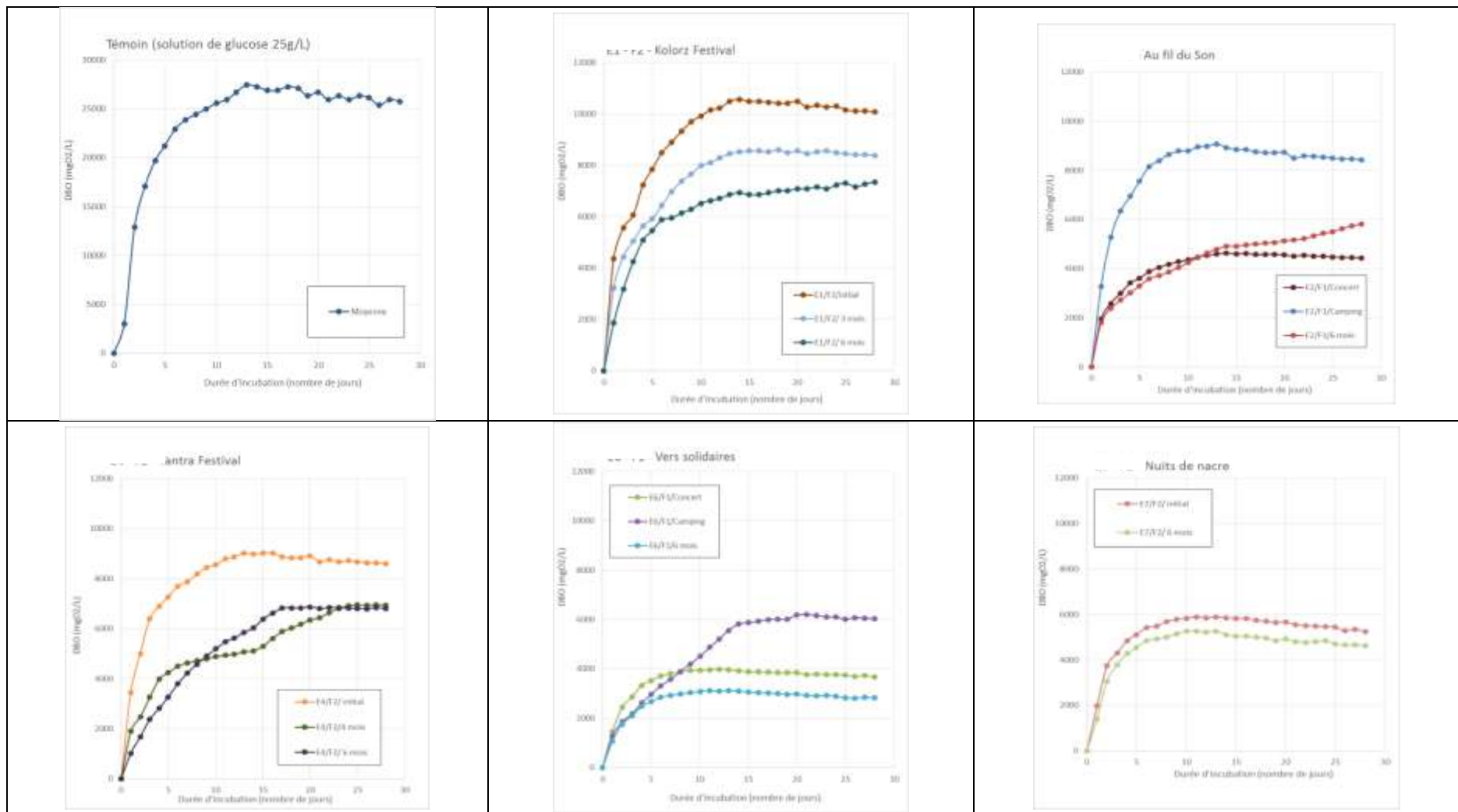


Figure 103 : Évolution de la DBO sur les différents événements en fonction de la durée d'incubation



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.

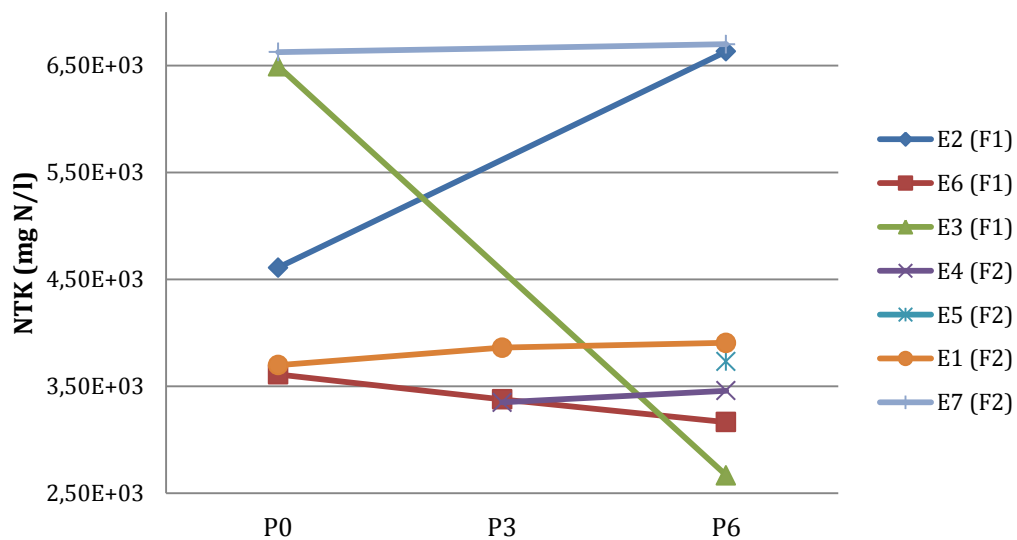


Figure 104: L'évolution de NTK de F1 et F2

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 réducteur au cours du stockage est stable. Seul E3 et dans une moindre mesure E6, se caractérise par une diminution de l'azote réducteur ce qui montrerait pour les autres événements d'assez faibles pertes azotées. L'augmentation de l'azote réducteur 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.

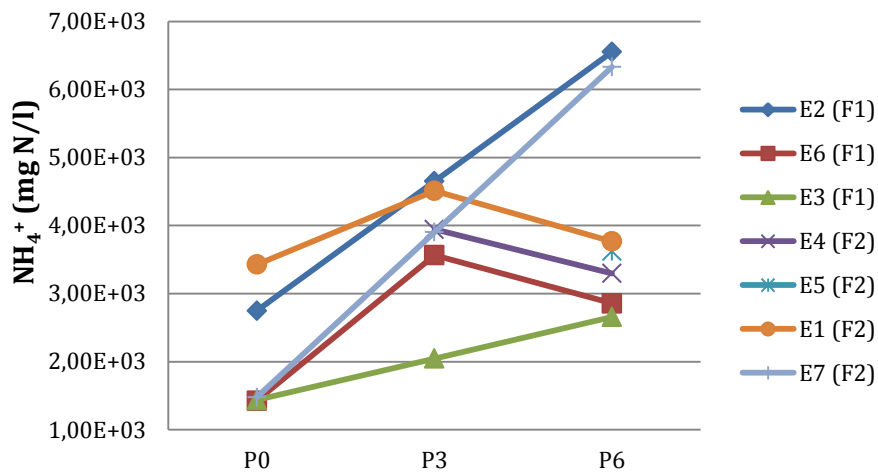


Figure 105: L'évolution de  $\text{NH}_4^+$  de F1 et F2

Il y a dégradation de l'urée car augmentation des teneurs en  $\text{NH}_4^+$  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  $\text{NH}_4^+$  faibles). L'augmentation de la concentration en  $\text{NH}_4^+$  constatée sur tous les événements est normale. La baisse de concentration en  $\text{NH}_4^+$  entre P3 et P6 traduit probablement, sauf pour E3, des pertes par volatilisation. Les trajectoires de concentrations en  $\text{NH}_4^+$  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].

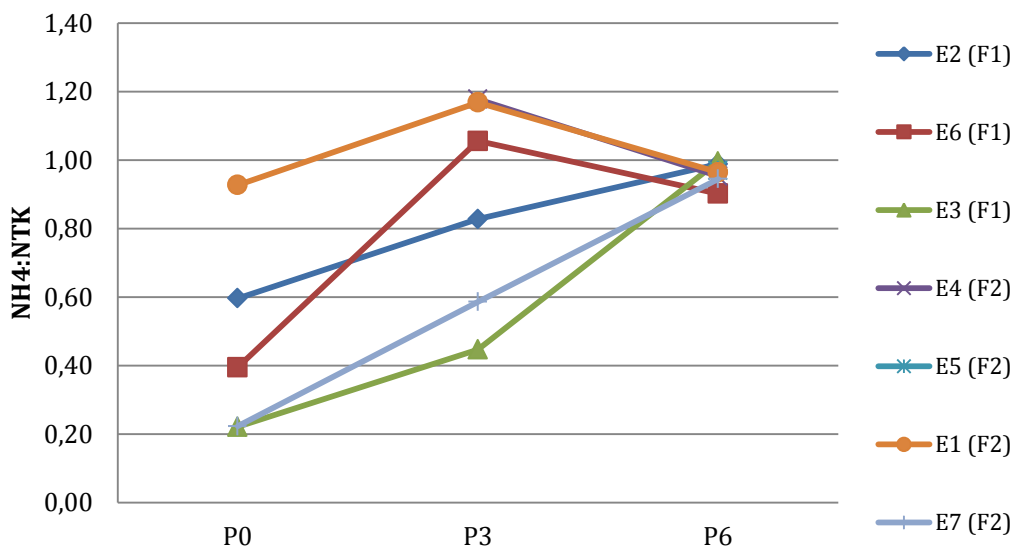


Figure 106: L'évolution du ratio de  $\text{NH}_4/\text{NTK}$

Sur la Figure 106, on voit que le ratio de  $\text{NH}_4^+/\text{NTK}$  a une tendance à l'augmentation durant les 6 mois de stockage. On peut dire que la teneur en  $\text{NH}_4^+$  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/DBO<sub>5</sub>. 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

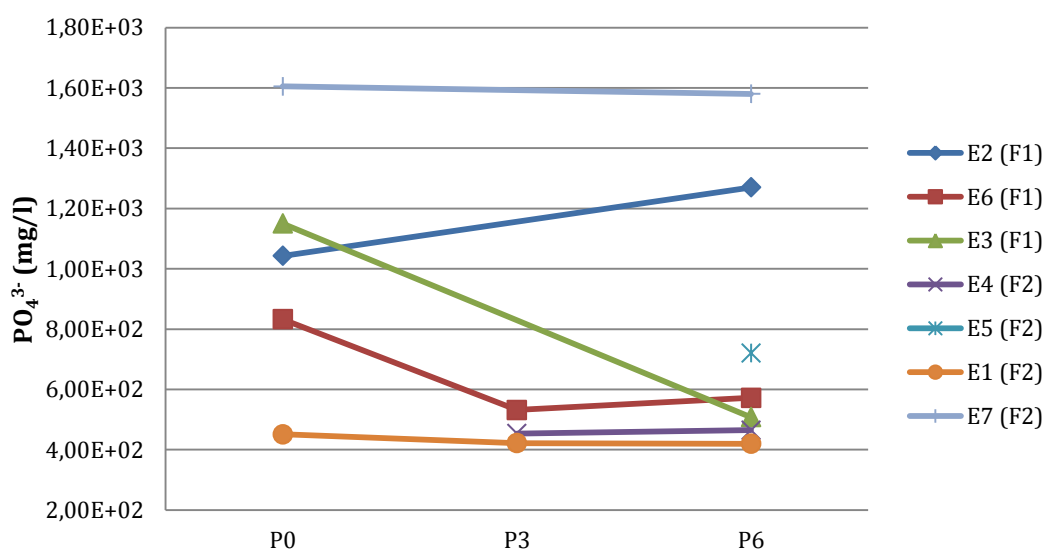


Figure 107: L'évolution de phosphate de F1 et F2

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 DBO<sub>5</sub> 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 DBO<sub>5</sub>:N:P, nécessaire au traitement biologique est de 100 :5 :1 [43]. Ainsi, le ratio DBO<sub>5</sub>/N doit être autour de 20, et celui de N/P autour de 5. Comme on l'observe sur la Figure 108 le ratio DBO<sub>5</sub>/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.



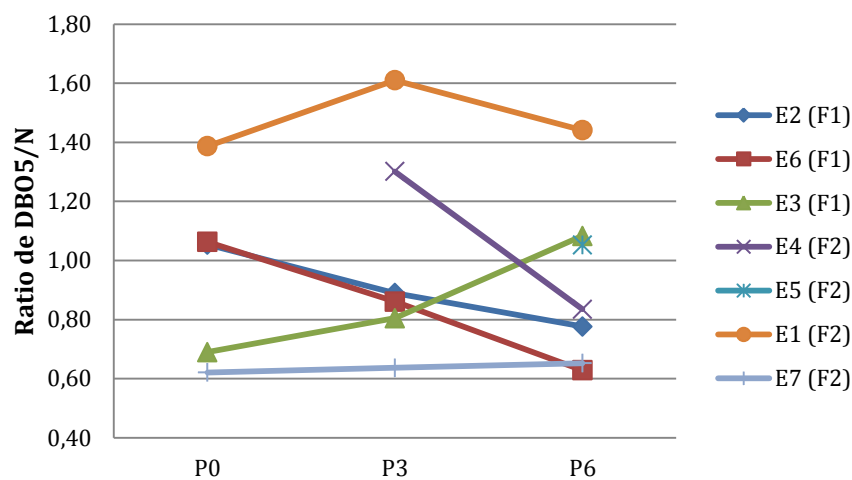


Figure 108: L'évolution du ratio DBO5/N

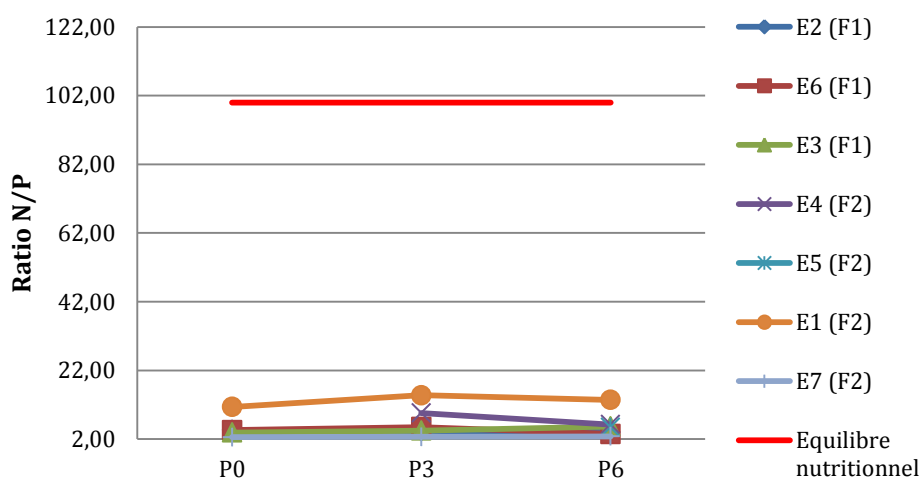


Figure 109: L'évolution du ratio N/P

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 ( $N_2$ ) 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.

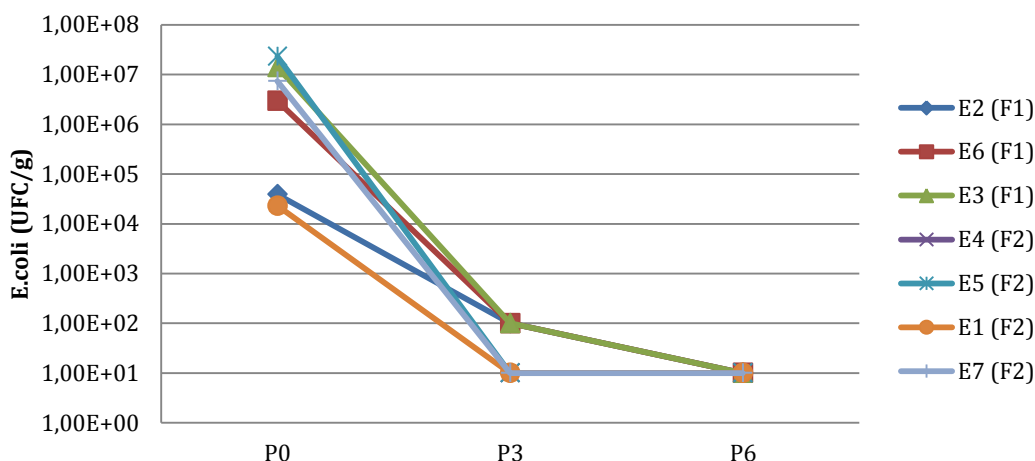


Figure 110: Comparatif des résultats pour le paramètre E.coli de F1 et F2

#### ❖ 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.

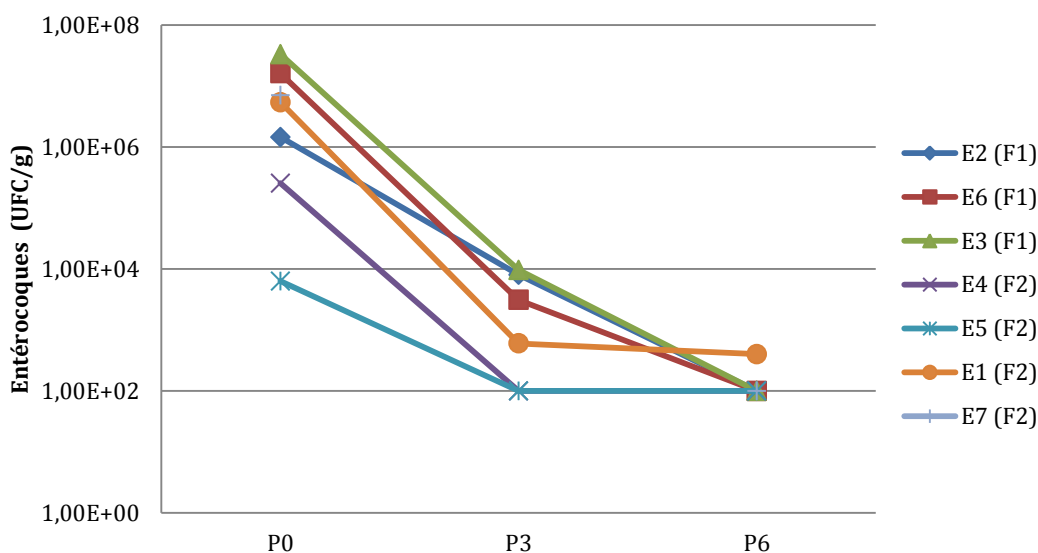


Figure 111: Comparatif des résultats pour le paramètre « Entérocoques » de F1 et F2

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



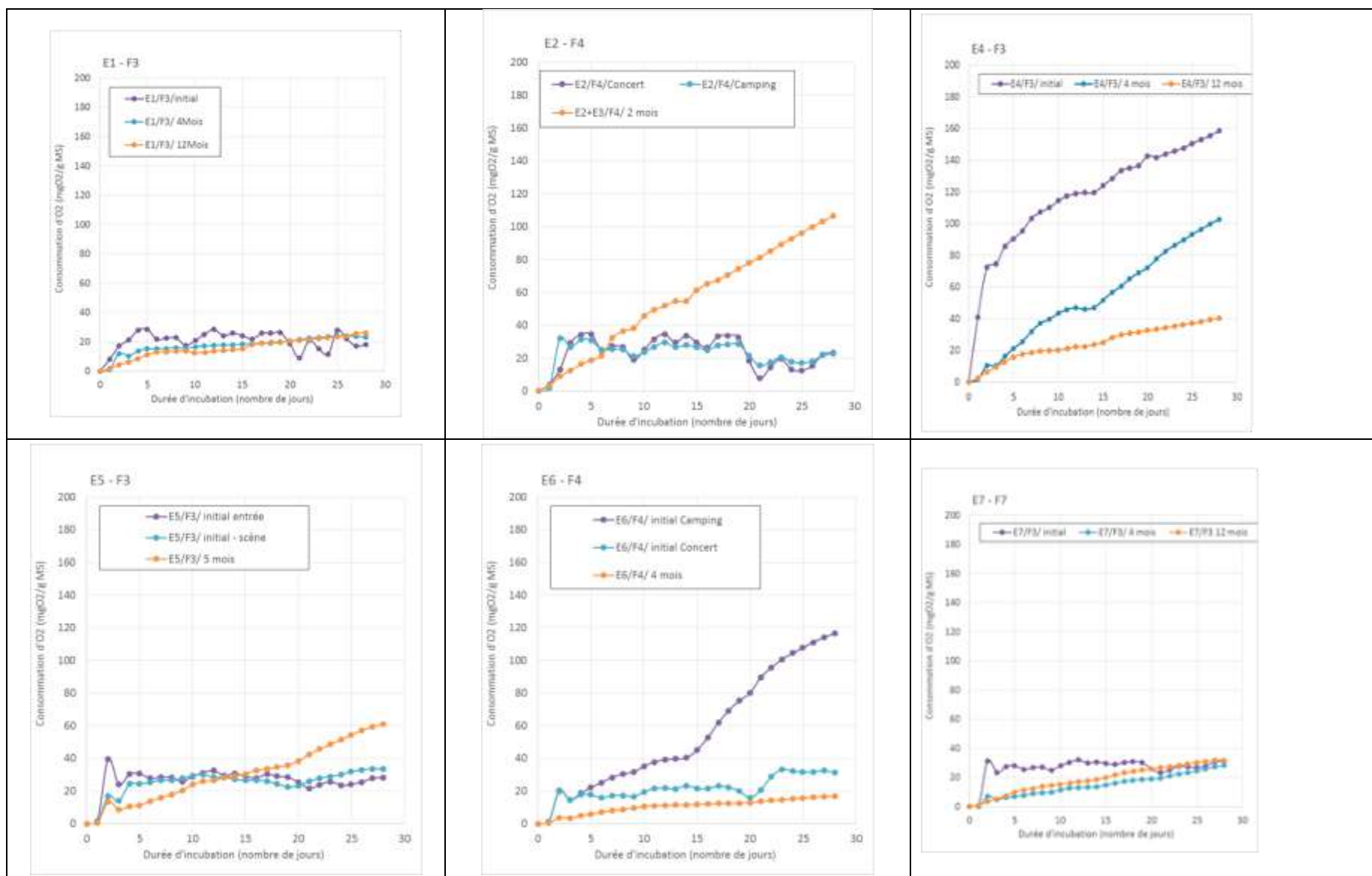


Figure 112: Activité respiratoire en conditions statique d'aération (ARS). Suivi de la consommation d'O<sub>2</sub> sur 28 jours d'incubation



Réalisées sur prises d'essais de l'ordre de 20 g<sub>MB</sub> 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<sub>O<sub>2</sub></sub>/g<sub>MS</sub>, avec pour la plupart des échantillons, des valeurs inférieures à 40 mg<sub>O<sub>2</sub></sub>/g<sub>MS</sub>, 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 NH<sub>3</sub>, 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<sub>O<sub>2</sub></sub>/g<sub>MS</sub>. 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'ARS<sub>28</sub> 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<sub>O<sub>2</sub></sub>/g<sub>MS</sub> 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

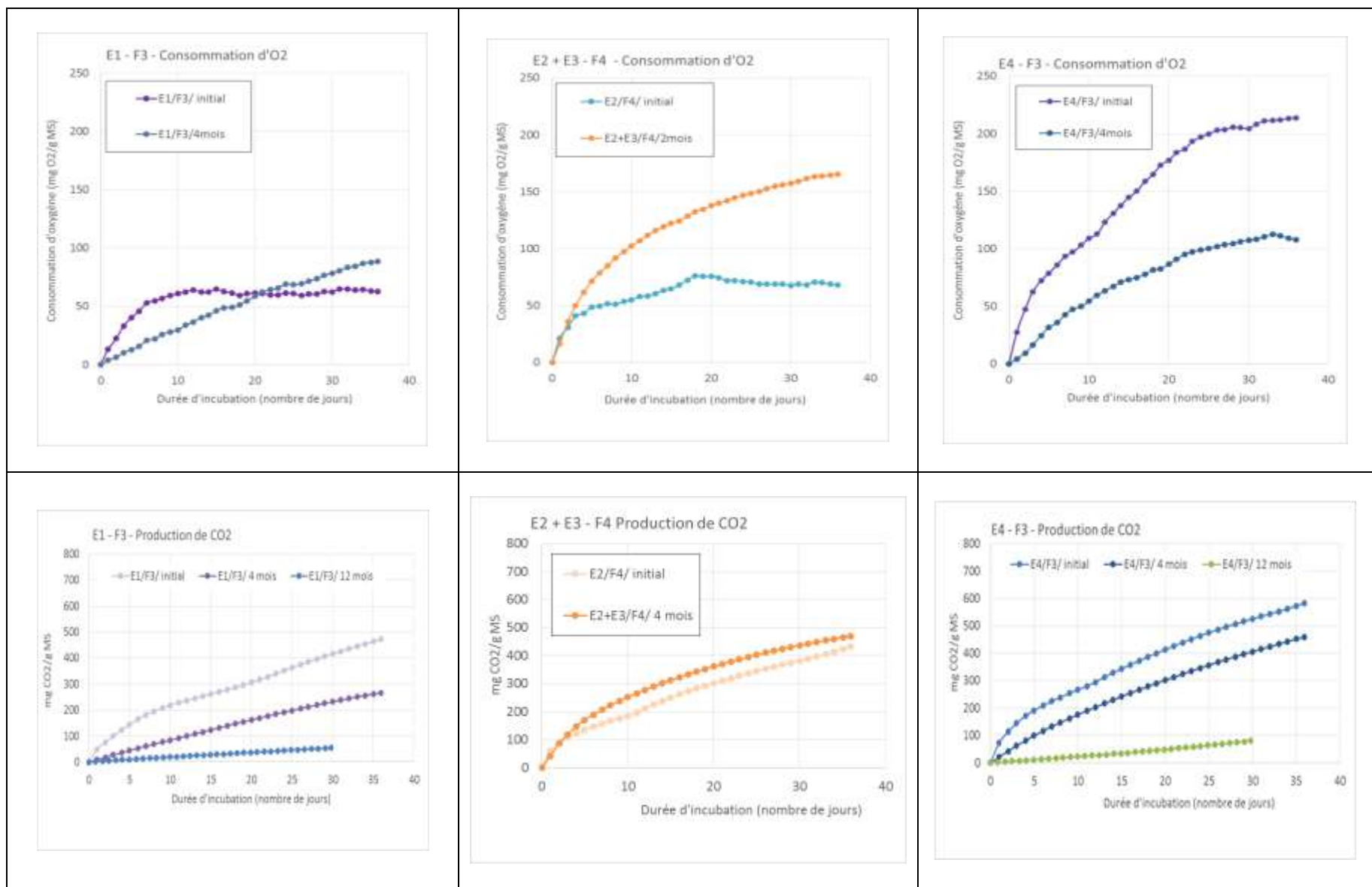


Figure 113: Activité respiratoire en conditions Dynamiques d'aération (ARD). Suivi de la consommation d'O<sub>2</sub> et de la production de CO<sub>2</sub> sur 28 jours d'incubation.



Tableau 36: Taux de Matière Sèche et de Cendre des échantillons analysés pour les ARD<sub>28</sub>

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<sub>MB</sub> avec des conditions d'aération optimisées (aération sous flux d'air contrôlé) et suivi direct de la consommation d'O<sub>2</sub> (activité respiratoire aérobie) et de la production de CO<sub>2</sub> (métabolisme de consommation de la matière organique). La Figure 113 présente les données calculées de production de CO<sub>2</sub> 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'O<sub>2</sub>) 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'O<sub>2</sub> reste faible sur l'échantillon de E1 après 4 mois de compostage (F3). En complément, les données de suivi de la production de CO<sub>2</sub> montrent que, si la consommation d'O<sub>2</sub> est faible sur les échantillons d'E1, une forte production de CO<sub>2</sub> est observée. Cette différence entre la production de CO<sub>2</sub> et la consommation d'O<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> tend à infirmer cette hypothèse. Cette production est liée à une forte activité microbienne, vraisemblablement de type fermentaire, avec une faible consommation d'O<sub>2</sub>. 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 ARD<sub>28</sub> 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 CO<sub>2</sub> est mise en évidence sur les 4 résidus en fin de compostage. En effet, la production de CO<sub>2</sub> 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 ARS<sub>28</sub> 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<sub>3</sub>) des échantillons initiaux ne paraît que peu probable au regard des données de production de CO<sub>2</sub> 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<sup>er</sup> 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.

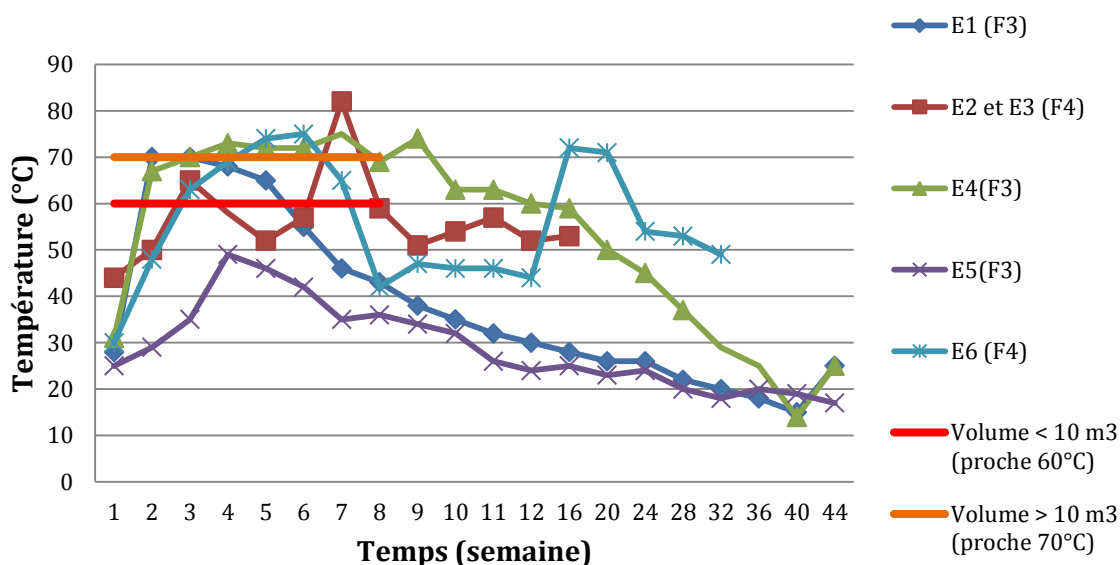


Figure 114: Suivis des températures au cours du compostage

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<sup>ère</sup> 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 le teneur en ammoniac présente dans le compost initiale 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.

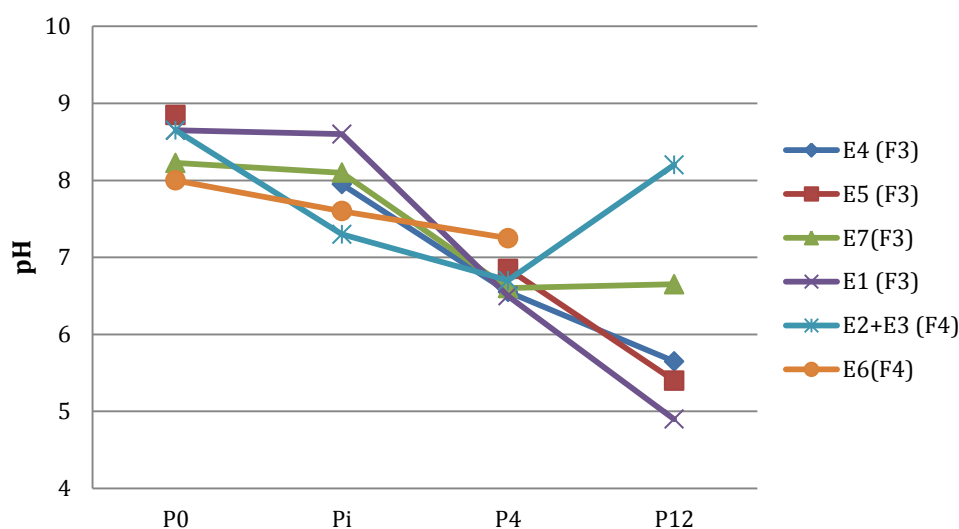


Figure 115: L'évolution de pH des matières brutes de F3 et F4

#### ❖ 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.

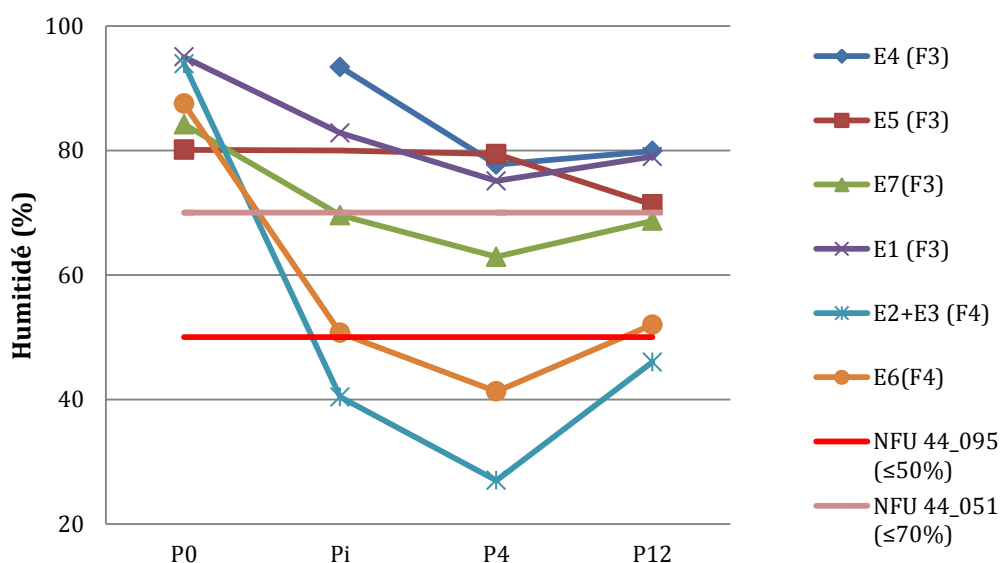


Figure 116: Évolution de l'Humidité



Les résultats obtenus pour E2/E3 et E6 respectent la norme NF U44-095 ( $\leq 50\%$ ) à partir de P<sub>4</sub>. 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.)<sup>44</sup>

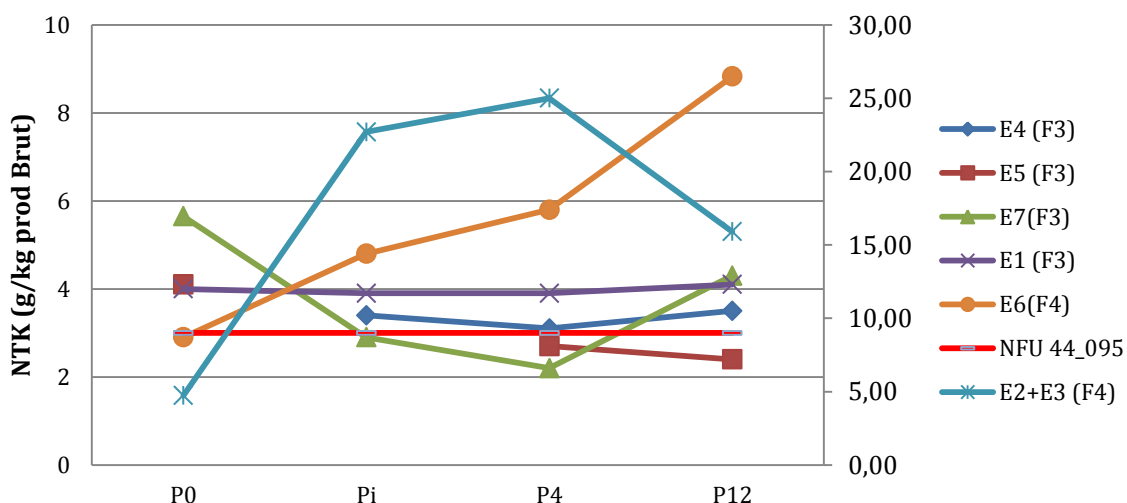


Figure 117: L'évolution de NTK des M.B. de F3 et F4 (valeurs d'E2+E3 issues des ordonnées de droite)

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

• <sup>44</sup> 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<sup>ème</sup> 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%).

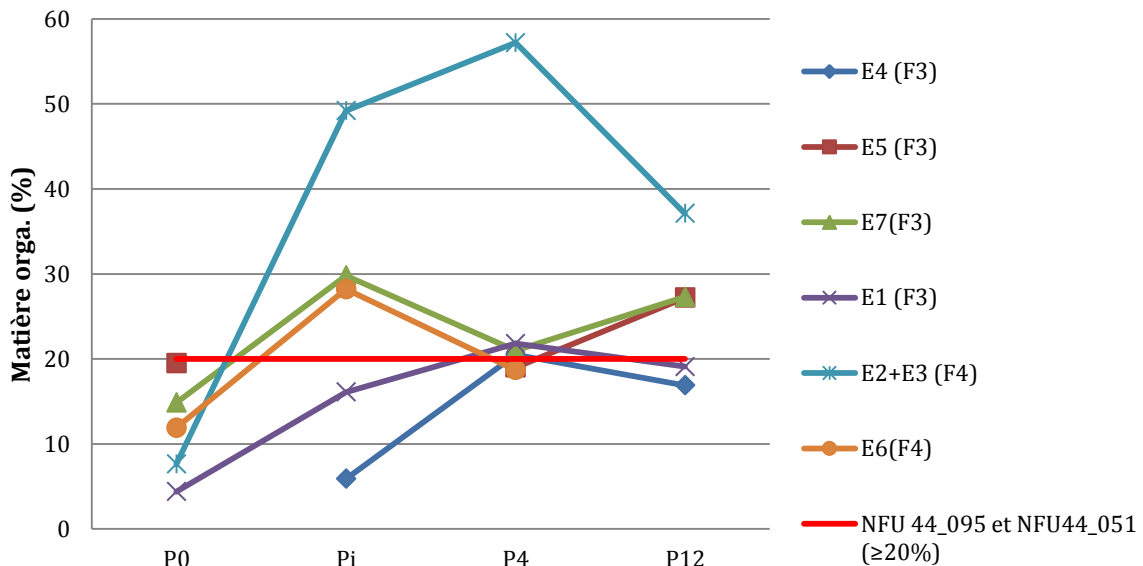


Figure 118: Comparaison de l'évolution du taux de MO des M.B.

#### ❖ Carbone

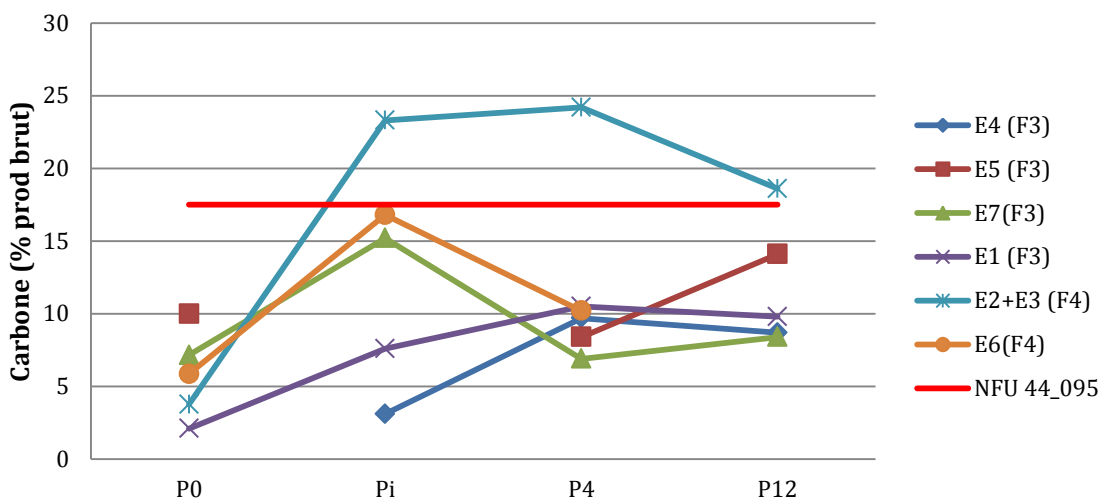


Figure 119: Comparaison de l'évolution de carbone des M.B.

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 (O<sub>2</sub>, humidité, température...) en produisant du CO<sub>2</sub>. 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<sup>ème</sup> 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.

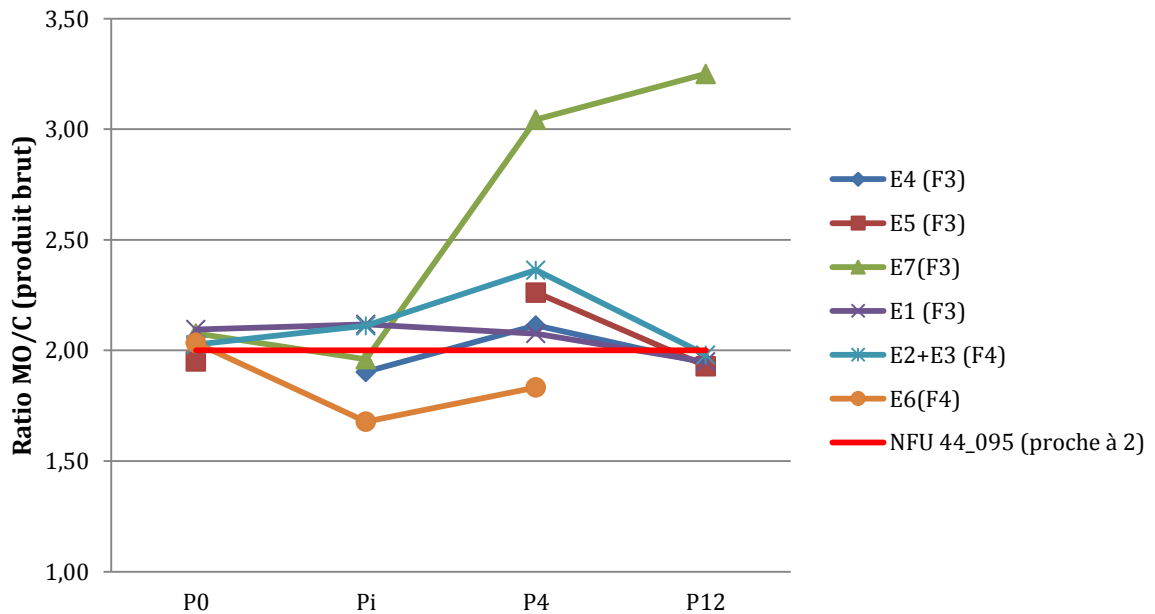


Figure 120: L'évolution du rapport MO/C

#### ❖ 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.).**

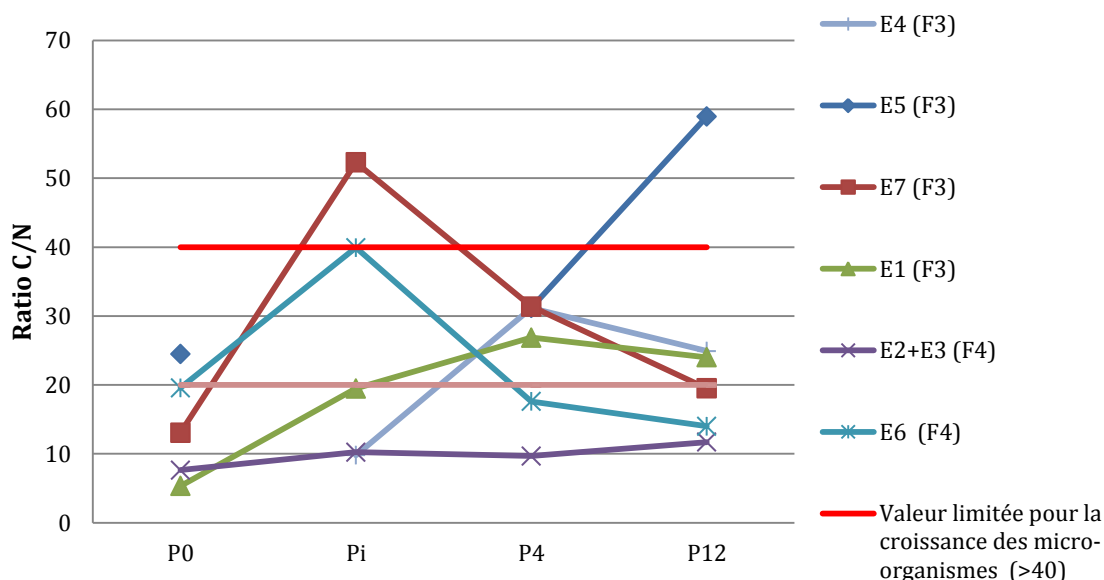


Figure 121: Évolution des ratios C/N

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<sup>E+3</sup> pour *Aspergillus fumigatus* et *Aspergillus niger* et de 1 à 350<sup>E+3</sup> 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 rencontrés assez couramment dans les produits agricoles.

Les concentrations rencontrées sont de l'ordre de grandeur de celles présentes 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 immunodéprimées 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<sub>i</sub>).

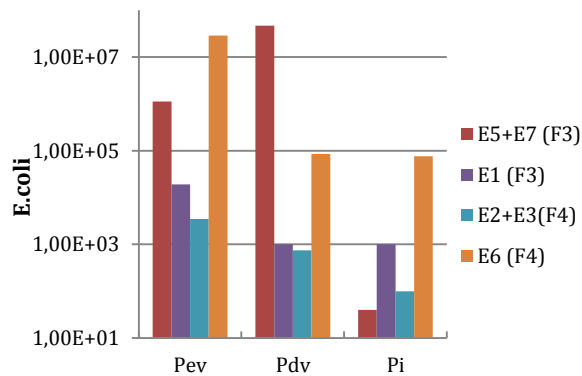


Figure 122: Comparaison des concentrations en *E. coli* (matières fraîches, déchets verts et mélange des 2)

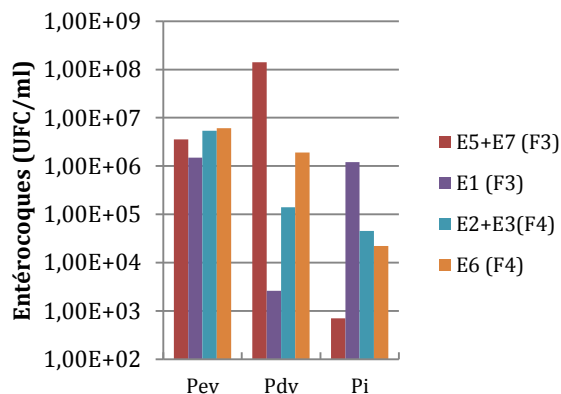


Figure 123: Comparaison des concentrations en Entérocoques (matières fraîches, déchets verts et mélange des 2)

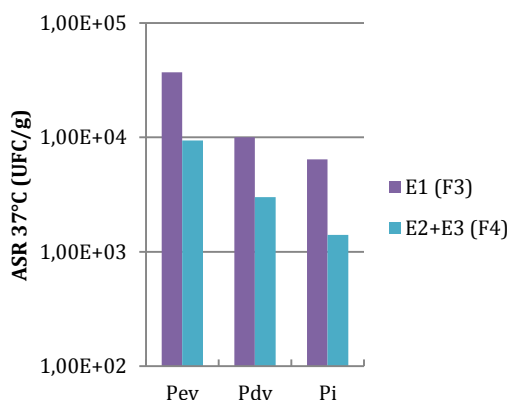


Figure 124: Comparaison des concentrations en ASR 37°C (UFC/g) (matières fraîches, déchets verts et mélange des 2)

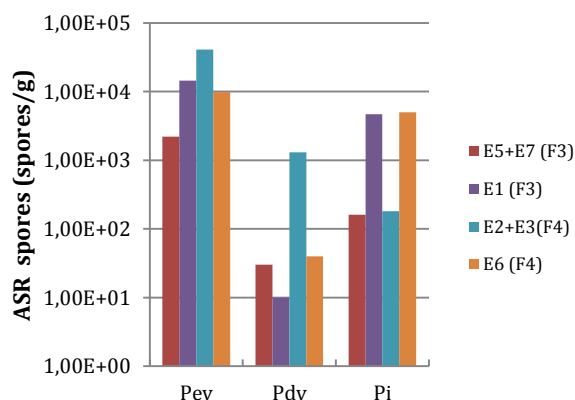


Figure 125: Comparaison des concentrations en ASR 37°C (spores/g) (matières fraîches, déchets verts et mélange des 2)

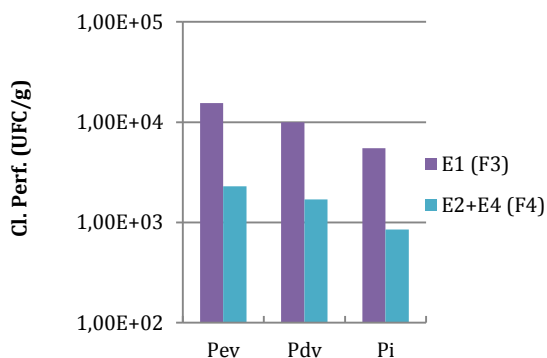


Figure 126: Comparaison des concentrations en *C. perfringens*. (UFC/g) (matières fraîches, déchets verts et mélange des 2)

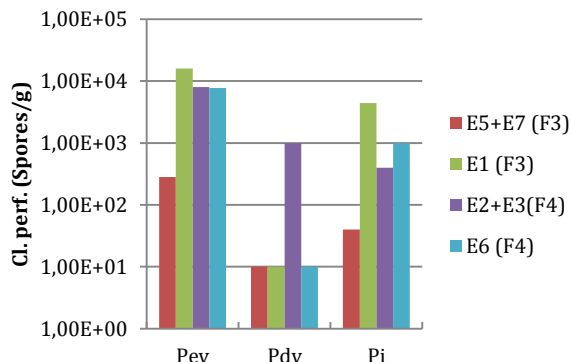


Figure 127: Comparaison des concentrations en *C. perfringens* (spores/g) (matières fraîches, déchets verts et mélange des 2)

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*

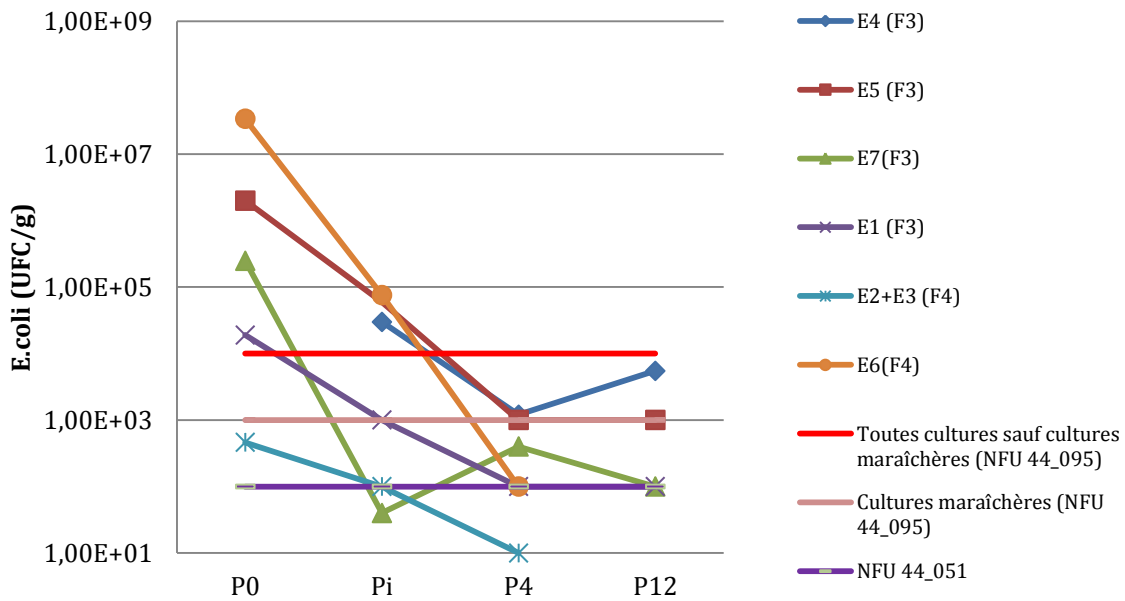


Figure 128 : Évolution d'E.coli pour F3 et F4

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

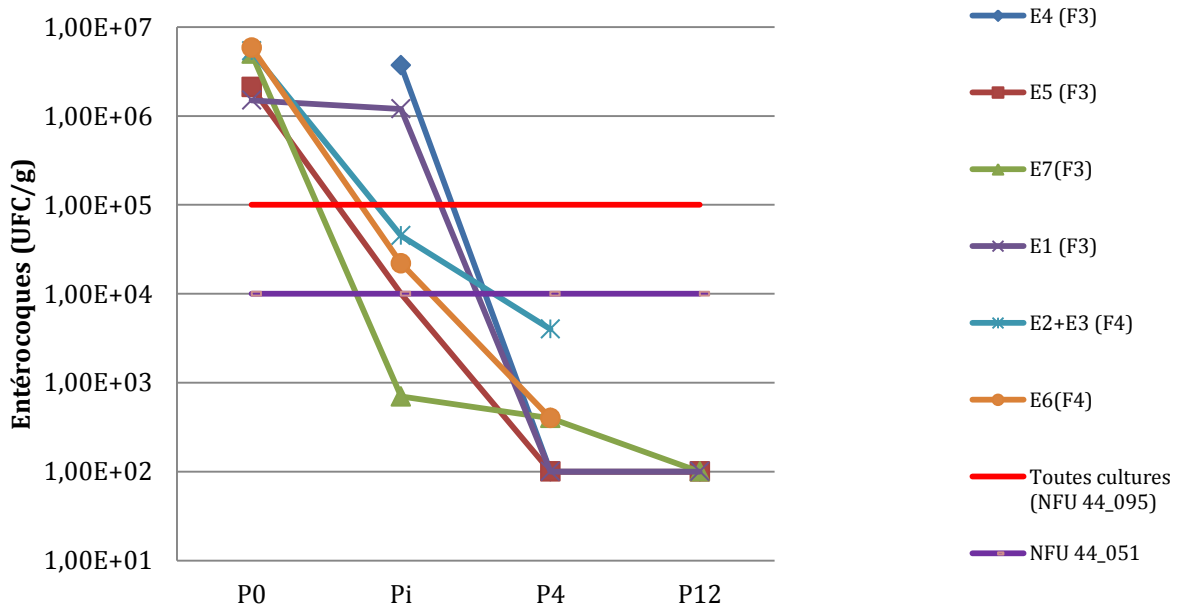


Figure 129 : Évolution d'Entérocoque pour F3 et F4

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 P<sub>0</sub> et P<sub>i</sub>. 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.

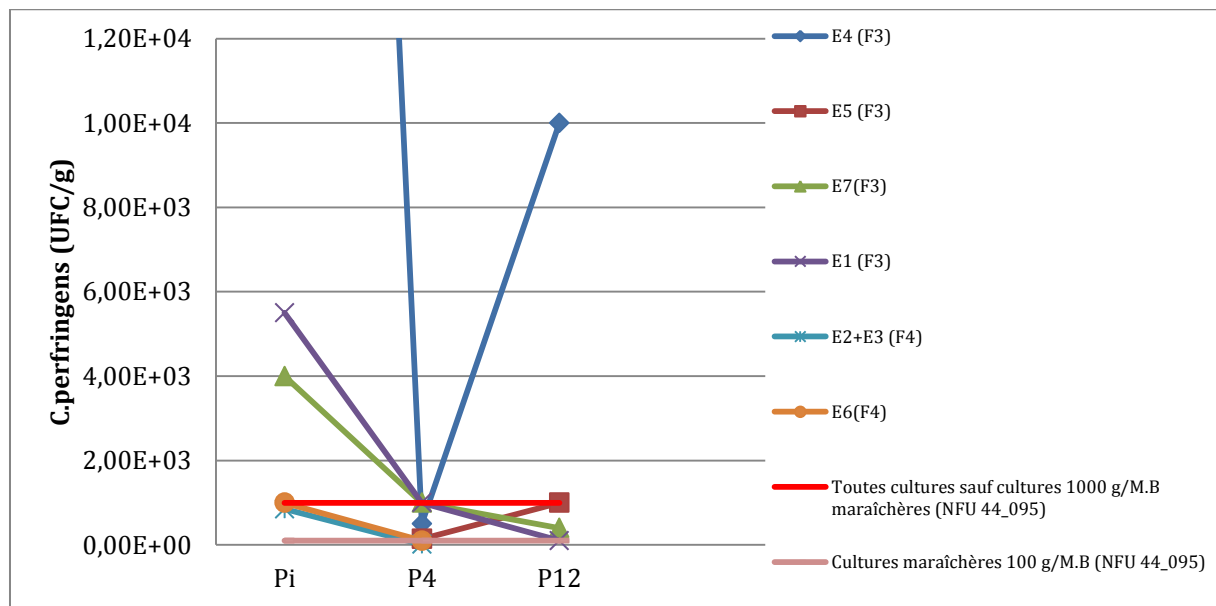


Figure 130: Évolution de *C. perfringens* (UFC/g) de F3 et F4

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 bêche désinfectée couvrant le sol. Le contact des matières avec le sol les auraient recontaminées.

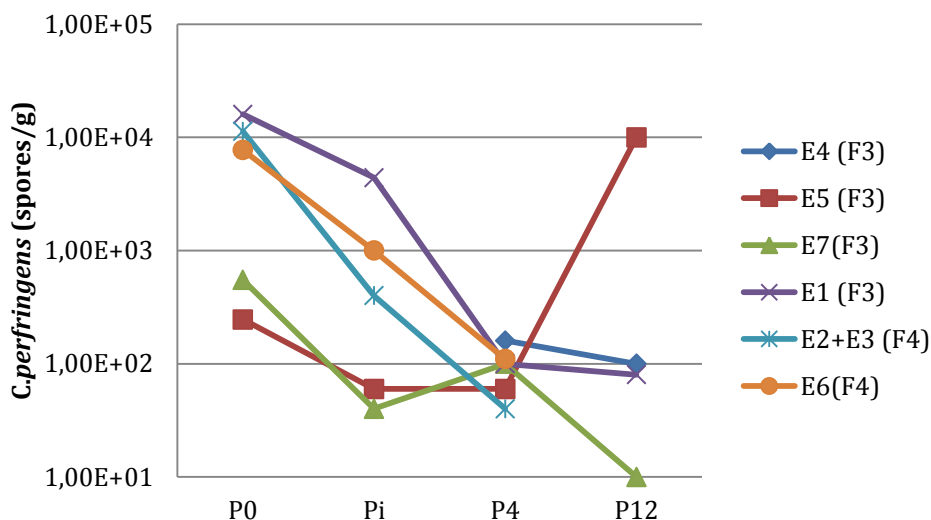


Figure 131: Évolution de *C. perfringens* (spores/g) de F3 et F4

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.

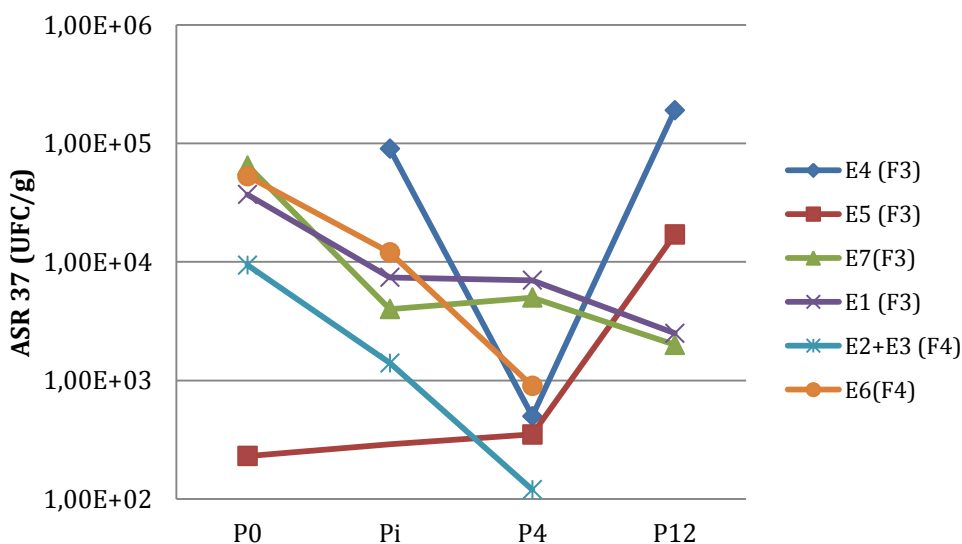


Figure 132: Évolution des ASR 37°C (UFC/g) de F1 et F2

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.

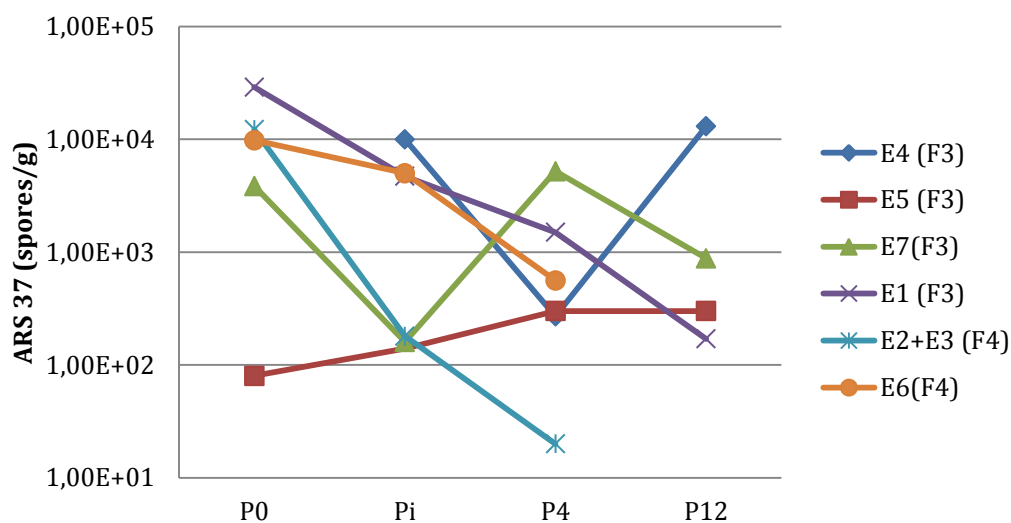


Figure 133: Évolution des ASR 37°C (spore/g) de F3 et F4

#### 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<sup>-1</sup>) 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
<b>Amphétamines</b>	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
<b>Phényléthylamine</b>	2C-P Ac	206 → 177 _ 10 eV
	25i-NBoMe	247 → 77 _ 20 eV
	Ethylphénidate	244 → 126 _ 5 eV
<b>Cocaïnes</b>	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
<b>Opiacés</b>	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
<b>Cathinones (nouvelles drogues de synthèse)</b>	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
<b>Cannabinoïdes de synthèse</b>	JWH-073	326 → 270 _ 20 eV
	UR-144	214 → 144 _ 10 eV
<b>Cyclohexamine</b>	MXE (métoxétamine)	219 → 190 _ 20 eV
	Kétamine Ac	216.2 → 56 _ 20 eV
	<i>Kétamine Ac-d4</i>	220 → 56 _ 20 eV
<b>Pipérazine</b>	mCPP (m-chlorophénylpipérazine)	166 → 138 _ 10 eV
<b>Tryptamine</b>	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 »).

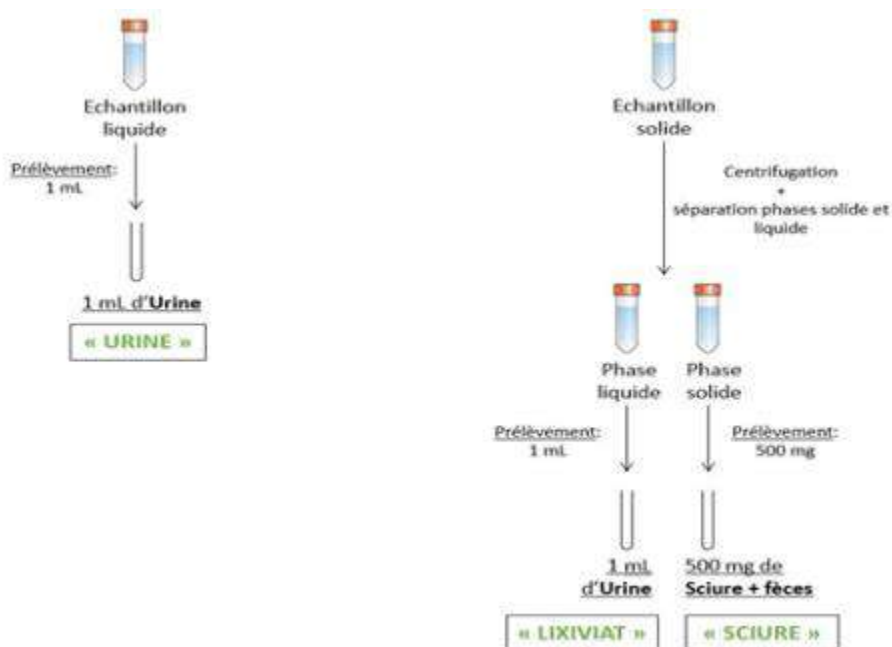


Figure 134: Préparation et description des échantillons à analyser (« Urine », « Lixiviat » et « Sciure »), échantillons initiaux.

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 T<sub>0</sub>. 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 benzoylecgonine (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 stupéfiantes 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 stupéifiantes 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
<b>F1</b>	Sanitaire	Faible	Faible	Faible
	Environnemental	Faible	Nul	Faible
<b>F2</b>	Sanitaire	Faible	Faible	Faible
	Environnemental	Faible	Nul	Faible
<b>F3</b>	Sanitaire	Moyen	Moyen	Faible
	Environnemental	Faible	Moyen	Faible
<b>F4</b>	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 FFP2<sup>45</sup>.
- 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

<sup>45</sup> [http://social-sante.gouv.fr/IMG/pdf/Fiche\\_Masques.pdf](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'usagers (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 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 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/m<sup>2</sup> ;
- 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 FIMO<sup>46</sup>. 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 ;

<sup>46</sup> Formation Initiale Minimale Obligatoire article 1<sup>er</sup> 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 m<sup>3</sup> par m<sup>2</sup> 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 <sup>d</sup>
20	≥1 mois	Virus	Aliments destinés à être transformés, fourrage <sup>d</sup>
20	≥6 mois	Probablement aucun	Tous types de cultures <sup>e</sup>

Pour 100 kg d'azote à l'hectare, il faut épandre environ 27 m<sup>3</sup> d'urine (concentration moyenne des urines collectées 3.75g d'azote/L) soit environ 2.7L/m<sup>2</sup>.

Pour 100 kg de phosphore à l'hectare, il faut épandre environ 167 m<sup>3</sup> 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 / m<sup>2</sup>.

## 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](http://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](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](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=LEGIARTIOO0029728336&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](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](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](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 <sub>28</sub>	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 <sub>5</sub> (F1 et F2)	100
Figure 102: L'évolution du ratio DCO/DBO <sub>5</sub>	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 <sub>4</sub> <sup>+</sup> de F1 et F2	104
Figure 106: L'évolution du ratio de NH <sub>4</sub> /NTK	104
Figure 107: L'évolution de phosphate de F1 et F2	105
Figure 108: L'évolution du ratio DBO <sub>5</sub> /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
<b>Figure 120: L'évolution du rapport MO/C</b> _____	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 SulfitoRéducteurs 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 Contenair – modèle de cuve utilisée par les prestataires pour le transport des matières de TSM.

**ICPE** : Installation Classé 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.

**DBO<sub>5</sub>** : 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'O<sub>2</sub> nécessaire pour oxyder la totalité de la charge polluante (substances organiques et minérales).

**DCO/DBO<sub>5</sub>** : 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.

**NH<sub>3</sub>** : l'Ammoniaque, composé transitoire entre l'azote organique et l'azote nitrique, il est relativement stable et peut être toxique.

**NH<sub>4</sub><sup>+</sup>** : 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-NH<sub>3</sub>) présent dans la matière et pouvant être dégradé par les bactéries.

**NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/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 DBO<sub>5</sub> :N :P doit être de 100 :5 :1

**DBO<sub>5</sub>/N et DBO<sub>5</sub>/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.

**NO<sub>2</sub><sup>-</sup>** : l'ion Nitrite, composé intermédiaire (instable, polluant et toxique) de la nitrification.

**NO<sub>3</sub><sup>-</sup>** : 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.

**K<sub>2</sub>O** : 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.

**P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>** : 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.*

