

**“ GESTION DES SOUS-PRODUITS DE TOILETTES
SECHES FAMILIALES : ETUDE SUR LE
TRAITEMENT DES MATIERES PAR COMPOSTAGE
”**

Florent Brun, Stéphane Leguen, Laurent Oxarango, Anne Delmaire, Isabelle Déportés, Laure Gran-Aymerich, Lysanne Bour, Sylvie Jousse, Denis Mazaud, Philippe Agenet, et al.

► **To cite this version:**

Florent Brun, Stéphane Leguen, Laurent Oxarango, Anne Delmaire, Isabelle Déportés, et al.. “ GESTION DES SOUS-PRODUITS DE TOILETTES SECHES FAMILIALES : ETUDE SUR LE TRAITEMENT DES MATIERES PAR COMPOSTAGE ”. [Rapport de recherche] Toilettes Du Monde. 2014. hal-01803047

HAL Id: hal-01803047

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01803047>

Submitted on 8 Jun 2018

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

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



« GESTION DES SOUS-PRODUITS DE TOILETTES SECHES FAMILIALES : ETUDE SUR LE TRAITEMENT DES MATIERES PAR COMPOSTAGE »

Rapport comprenant le volet compost et le volet lixiviat

Juillet 2014

Étude réalisée par Toilettes Du Monde

Isabelle DEPORTES de l'ADEME Angers – Institut de Santé Agro-Environnement de l'Ille et Vilaine –
Stéphane LE GUEN du Réseau de l'Assainissement Écologique – Élise AUFRAY (graphiste) –



Remerciements

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

Nous remercions également les 6 familles des sites suivis ainsi que les chercheurs/intervenants qui ont participé à la collecte d'informations et l'interprétation des résultats d'analyses pour la rédaction de ce rapport d'étude.

Comité de pilotage :

Isabelle DÉPORTES	ADEME
Laure GRAN-AYMERICH	Ministère de la santé – DGS
Lysanne BOUR / Sylvie JOUSSE	Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse
Stéphane LEGUEN	Terhao – RAE
Denis MAZAUD	ADEME
Laurent OXARANGO	LTHE Grenoble
Philippe AGENET / Sandra PARISI	Agence Loire et Bretagne
Anne Marie POURCHER	IRSTEA Rennes
Jessica LAMBERT / Charlotte RAMBERT	Ministère de l'Écologie – DEB
Anne TRÉMIER	IRSTEA Rennes
Benjamin BERNE, Florent BRUN et Anne DELMAIRE	Chargé(e)s d'études de Toilette Du Monde

Comité de suivi :

Annie GUERNION	Humusséo – RAE
Mathieu ROLLAND	Aqualogik – RAE
Stéphane LE GUEN	Terhao – RAE
Florent BRUN	Toilettes Du Monde

Autres intervenants :

Catherine LOYSANCE-PAROUX	ISAE 35
Claire et Olivier MERLET	Chlorophylle – RAE – Famille de Gigondas
Nicolas THEVENOT	Famille de Nyons
Mathieu et Estelle ROLLAND	Famille de Landévant
Aymeric MENARD	Famille de Plédran
Pascale MAUNY et Samuel MASSON	Famille de St Barthélémy
David DEFOIS	Famille de Kergrist Moelou
Marion DUVAL	Membre du CA de Toilettes Du Monde
Bintou OUATTARA	Stagiaire de Toilettes Du Monde

Table des matières

Table des matières.....	4
Index des figures, des photographies et des tableaux.....	5
Sigles et abréviations.....	6
Résumé.....	7
Abstract.....	8
Introduction.....	9
1. Étude bibliographique.....	10
1.1. Cadre du travail bibliographique.....	10
1.2. Tableau de synthèse bibliographique.....	10
2. Matériel et méthodes.....	12
2.1. Mise en place du protocole scientifique.....	12
2.2. Durée de l'étude.....	12
2.3. Les sites d'étude.....	13
a) Choix des sites d'étude.....	13
b) Structures de suivi.....	13
c) Implantation des sites d'étude.....	13
2.4. Les composteurs.....	15
2.5. Précisions sur le protocole : litières et modes de gestion.....	15
a) Les litières employées.....	15
b) Les modes de gestion des composteurs.....	16
2.6. Méthodologie des mesures physico-chimiques in-situ.....	17
a) Estimation des masses entrantes.....	17
b) Mesures des températures.....	18
c) Indicateurs choisis pour les caractérisations chimiques in situ.....	20
2.7. Mesures en laboratoire.....	21
a) Prélèvements et conditionnements pour le transport des produits.....	21
b) Chronologie et descriptif des analyses.....	22
3. Résultats et discussion.....	24
3.1. Volet 1 : Compost.....	24
a) Bilan des flux.....	24
b) Enregistrement de la température.....	26
c) Bilan physico-chimique.....	31
d) Bilan microbiologique.....	33
e) Bilan Agronomique.....	38
3.2. Volet 2 : Lixiviats.....	39
a) Bilan des flux.....	39
b) Bilan physico-chimique.....	43
c) Bilan microbiologique.....	47
4. Recommandations.....	49
Conception.....	49
Gestion des sous-produits.....	49
Précautions sanitaires.....	50
Valorisation.....	50
Conclusion.....	51
Glossaire.....	52
Références bibliographiques.....	54
Annexes.....	56

Index des figures, des photographies et des tableaux

Tableau 1: Synthèse des normes et réglementations existantes sur les composts et lixiviats formant des référentiels comparatifs	11
Tableau 2 : Informations sur les sites d'étude.	16
Tableau 3 : Taux de vidange moyens par site d'étude et leur coefficient de corrélation	25
Tableau 4 : Typologie et flux de matière carbonée	25
Tableau 5 : Dimensionnement de composteur en fonction du nombre de personne dans le foyer	26
Tableau 6 : Type / nombre de campagne réalisées par site	27
Tableau 7 : Valeurs agronomiques obtenues pour les différents sous-produits de Toilettes Sèches de l'étude... ..	38
Tableau 8 : Récapitulatif des valeurs agronomiques moyennes d'un compost de biodéchets.	38
Tableau 9 : Masse de lixiviats percolant journalière moyenne (coefficient directeur des courbes de masse de lixiviats)	39
Tableau 10 : Proportion de la masse totale vidangée percolant sous forme de lixiviats	40
Tableau 11 : Estimation des flux d'infiltration de lixiviats dans le cas d'un composteur non-étanche	42
Tableau 12 : Masse de lixiviats en percolation journalière moyenne (coefficient directeur des courbes de masse de lixiviats) comparée aux normes de rejet dans le milieu naturel	47
Figure 1 : Répartition des structures de suivis par famille / sites	13
Figure 2 : Localisation des sites d'étude	14
Figure 3 : Répartition des 3 thermoboutons pour un compartiment de composteur	19
Figure 4 : Graphique représentant la masse vidangée cumulée (en kg) des différents sites d'étude	24
Figure 5 : Comparaison des relevés des thermoboutons à St Barthélémy	27
Figure 6 : Comparaison des relevés des thermoboutons à Nyons	28
Figure 7 : Comparaison de la t° moyenne du compost avec la température extérieur à Kergrist-Moelou	28
Figure 8 : Comparaison de la t°C moyenne du compost avec la t°C extérieur à Landévant.....	29
Figure 9 : Comparaison de la t°C moyenne du compost avec la t°C extérieur à Gigondas	29
Figure 10: Comparaison de la température moyenne des thermoboutons des composteurs	30
Figure 11: Comparaison de l'évolution des pH par site	31
Figure 12 : Comparaison de l'évolution du taux d'humidité par site.....	32
Figure 13 : Ensemble des résultats recueillis pour le paramètre <i>E. coli</i> (en UFC/g)	33
Figure 14: Ensemble des résultats recueillis pour le paramètre <i>Entérocoques</i> (en UFC/g)	34
Figure 15 : Ensemble des résultats recueillis pour le paramètre <i>Cl. perfringens</i> (en UFC/g).....	35
Figure 16: Ensemble des résultats recueillis pour le paramètre <i>Cl. perfringens</i> (en spores/g)	35
Figure 17: Ensemble des résultats recueillis pour les paramètres ASR 37 (en UFC/g).....	36
Figure 18: Ensemble des résultats recueillis pour les paramètres ASR 37 (en spores/g)	36
Figure 19 : Masse de lixiviats percolant cumulée pour les 4 familles durant la période de suivi	39
Figure 20 : Masse des vidanges d'excrétas (famille de Nyons) mesurées (symboles bleus) et recalculées en utilisant moy_U et moy_F	41
Figure 21 : Évolution de la concentration en matière en suspension.....	43
Figure 22 : Évolution de la DCO, de la DBO et du rapport DBO/DCO.....	44
Figure 23 a. Évolution de la concentration en azote ammoniacal des lixiviats produits (mesures par bandelettes (symboles pleins) et en laboratoire (symboles creux))	45
Figure 24 : Évolution du pH des lixiviats produits (mesures par bandelettes (symboles pleins) et en laboratoire (symboles creux))	46
Figure 25 : Évolution des propriétés microbiologiques des lixiviats	48
Photo 1 : Composteur de Gigondas, aire étanche à gestion optimisée (vues extérieure et intérieure).....	15
Photo 2 : Composteur de Kergrist, aire non étanche (vues extérieure et intérieure)	15
Photo 3 : Composteur de St Barthélémy, aire non étanche et à gestion optimisée (1 compartiment).....	17
Photo 4 : Bidon de récupération des lixiviats.....	18
Photo 5 : Thermobouton et son lecteur USB.....	18
Photo 6 : Implantation de thermoboutons protégés par du scotch et une enveloppe étanche (Aire de Nyons étanche et à gestion à minima)	19
Photo 7 : Thermomètre à compost	20
Photo 8 : Analyse des ions Ammonium dans un lixiviat (dilution 10 et 20)	20
Photo 9 : Prélèvement d'échantillons par la méthode des quartas, sur le site de Gigondas	21

Sigles et abréviations

AC : Assainissement Collectif

ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

ANC : Assainissement Non Collectif

C, N, K : symboles des éléments chimiques Carbone (C), Azote (N), Potassium (K)

DBO5 : Demande Biologique en Oxygène au bout de 5 jours

DCO : Demande Chimique en Oxygène

EH : Équivalent Habitant

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

IRSTEA : Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture

ISAE 35 : Institut en Santé Agro-Environnement de l'Île et Vilaine

ISDND : Installation de Stockage des Déchets Non Dangereux

K₂O : Oxyde de Potassium

LTHE : Laboratoire d'étude des Transferts en Hydrologie et Environnement de l'UJF de Grenoble

MES : Matières En Suspension

MIATE : Matières d'Intérêt Agronomique issues du Traitement des Eaux

MO : Matière Organique

MS : Matière Sèche (exprimé en %)

N_{TK} : Azote total Kjeldahl

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

P₂O₅ : Penta-oxyde de Phosphore

RAE : Réseau de l'Assainissement Écologique

SPANC : Service Public d'Assainissement Non Collectif

TDM : Toilettes Du Monde

TLB : Toilettes à Litière Biomaîtrisée

TS : Toilette Sèche

UFC : Unité Formant Colonie

Résumé

Certains déchets associés à un procédé d'assainissement comme le compostage, qui garantit qualité et hygiénisation, peuvent être valorisés. C'est le cas des sous-produits de toilettes sèches. Il est de plus en plus fréquent que le grand public participe à la valorisation des déchets par le biais du tri sélectif, du recyclage, du compostage des déchets organiques, des déchets verts et plus nouvellement des excréta.

Selon le RAE et sur la base d'échange avec les SPANC, on dénombre en 2014 environ 5% des installations en ANC qui seraient équipées de *Toilette Sèche*¹ (dont 90% sont des Toilettes à *Litière Biomaîtrisée*)², alternative écologique aux toilettes à chasse d'eau. Ces dernières représentent environ 20% de la consommation domestique en eau des français.

Dans ce contexte, il manque aujourd'hui des connaissances sur l'impact de la gestion et du *compostage* des excréta associés à de la matière carbonée. C'est pourquoi, la présente étude se propose d'améliorer les connaissances par le suivi in situ d'installation en cours d'exploitation.

L'objectif général de l'étude est d'« améliorer les pratiques domestiques relatives à la gestion des sous-produits de toilette sèche familiale à litière (*TLB*) sur le territoire français ».

Pour cela, plusieurs objectifs spécifiques ont été défini, à savoir :

- développer la connaissance qualitative et quantitative des flux de sous-produits ;
- assurer le suivi in situ de dispositifs de *compostage* auto-construit représentatif des pratiques en France ;
- identifier les bonnes pratiques de gestion permettant d'obtenir des sous-produits assainis et valorisables ;
- produire des recommandations au grand public, aux SPANC et aux professionnels de l'assainissement sur la gestion des sous-produits de *TLB*.

Dans ce cadre la démarche de l'étude s'articule autour de 2 volets : un volet pour la phase solide produite (compost) et un volet sur la phase liquide (*lixiviats*). La démarche est de réaliser une analyse des flux/composition produits et de caractériser les performances sanitaires et environnementales d'une *aire de compostage* de sous-produits de *TLB* familiales.

Parmi, les nombreuses techniques de toilettes sèches, les *TLB* sont les plus utilisées du grand public. La gestion des sous-produits reste à être améliorée, en particulier la pratique du compostage sur la parcelle. Les bénéfices de cette étude sont donc destinés directement à l'amélioration des pratiques autour des initiatives individuelles mises en place que ce soit en termes de conception des composteurs mais également pour les gestes associés à leur exploitation afin de réduire les potentiels risques sanitaires et environnementaux. Les SPANC et autres acteurs de l'assainissement non collectif (ANC), seront informés des résultats et recommandations de l'étude ainsi que des modalités quant à la valorisation à la parcelle du compost obtenu grâce à une plaquette de communication.

Mots clés : Toilettes Sèches à Litière – composteur/compostage/compost – excréta – lixiviats – hygiénisation – valorisation

¹ Les termes en italique font référence au glossaire à la fin du présent rapport.

² Enquête Nationale auprès des utilisateurs de toilettes sèches par l'association Empreinte.

Abstract

Some wastes associated with a remediation process as composting, which guarantees quality and sanitation, can be recycled. Dry toilets by-products can be concerned. The public is more and more involved in the recovery of waste through selective sorting, recycling, composting organic waste, green waste and newly excreta. In 2010, there were more than 1,700 households with Dry Toilet (90% were TLB), environmentally friendly alternative to flush toilets. In 2006, it's accounted for 20% of domestic water consumption in France. In this context, there are lacks of knowledge on the impact of management and composting excreta associated with carbonaceous material. Therefore, this study aims to improve the knowledge of the in situ monitoring installation during operation.

The global objective of the study is to "improve household practices relating to the management of TLB's by-products." Several specific objectives have been defined:

- Develop qualitative and quantitative byproduct's flow knowledge;
- Ensure in situ monitoring on self-built composting system which is representative of practices in France;
- Identify best management practices for obtaining reusable byproducts;
- Make recommendations to the public, SPANC and wastewater professionals on TLB by-products management.

In this context the approach of the study is based on two components: a component for the solid phase produced (compost) and a section on the liquid phase (leachate). The approach is to achieve a flow analysis / composition products and characterize the health and environmental performance of a family's composting area for TLB's byproducts. Due to awareness about water resources waste and the soil's depletion by our usual flush toilets, the public is more interested in dry toilets.

It is clear that the TLB are best known to the public but not the practices associated with their management. The expected benefits of this study are to directly improve practices around individual initiatives implemented both composters design and actions associated with management in order to reduce potential health and environmental risks. The SPANC and other professional's actors will be informed of the results and recommendations of the study.

Introduction

Du fait d'une augmentation des usagers de *Toilettes Sèches*, ce n'est qu'en Septembre 2009 que la réglementation sur les installations d'Assainissement Non Collectif (ANC) mentionne le terme « *Toilettes Sèches* » (TS) et le *compostage* associé. Les *Toilettes Sèches* sont définies comme étant des toilettes assurant la collecte des excréta (urines et fèces) humains sans utiliser de l'eau pour leur évacuation.

La présente étude est basée sur des *TS à Litière* (ou *TLB*), de la famille des *TS unitaires* (le schéma de classification des TS du RAE est disponible en **Annexe 1**) qui est le dispositif de TS le plus répandu en France. Il implique un *compostage* discontinu, c'est-à-dire que dans un premier temps la collecte des fèces et des urines est réalisée dans un même *réceptacle* étanche. L'ajout de la *litière* (*matière carbonée*), après chaque passage, permet d'absorber en partie les *lixiviats* (urines ayant été en contact avec des fèces), de couvrir visuellement les excréta en régulant les odeurs et en permettant d'aérer le compost. La présence d'urines facilite le processus de compostage grâce à leur apport en azote et en humidité. Ensuite la vidange du seau doit être réalisée dans un composteur situé à l'extérieur du foyer (sur la parcelle de la maison – cf arrêté ministériel Sept 2009) auquel un ajout complémentaire de *matières carbonées* peut être effectué.

Il est pertinent de réaliser un suivi scientifique des sous-produits de la TLB (appelée ici la toilette sèche à litière familiale) de par sa représentativité en France mais aussi car elle demande des interventions de manutention de la part des usagers pouvant engendrer des éventuels risques sanitaires, en particulier concernant le processus de compostage qui est spécifique à ce type de toilette sèche.

La littérature et la législation française concernant la qualité du compost obtenu et les rejets liquides issus de ce type de *compostage* restent limitées. En effet, peu d'études ont été menées sur le niveau *d'hygiénisation* et la qualité agronomique du compost final ni sur les flux et impacts des *lixiviats* provenant du compostage des matières de vidange.

Il est tout de même préconisé d'installer des aires de compostage étanches ou de récupérer les *lixiviats* dans un fût (**article 17 de l'Arrêté du 7 septembre 2009 révisé le 27 avril 2012**) sans connaissance plus approfondie des quantités et compositions produites. Puis en 2013, le guide d'accompagnement du PANANC à destination des SPANC spécifie que l'aire étanche n'est nécessaire que dans les *zones à enjeux sanitaires ou environnementale*.

La présente étude comprend deux volets qui concernent :

- (i) *l'hygiénisation* et la qualité agronomique du compost de *TLB* dit « volet compost »
- (ii) les caractéristiques qualitatives et quantitatives des flux de *lixiviats* dit « volet lixiviats ».

Le présent rapport aborde successivement les points suivants :

- (i) une étude bibliographique pour reprendre la réglementation relative aux différentes filières de traitement des sous-produits de l'assainissement. Elle permet de présenter des valeurs normalisées ou de références (réglementaires notamment) pour réaliser des comparaisons avec les paramètres suivis sur les deux volets de l'étude ;
- (ii) la méthodologie de l'étude présentant le choix et la description des sites étudiés, les paramètres suivis in situ et en laboratoire ;
- (iii) Les résultats d'analyses et leurs interprétations pour les volets « compost » puis « lixiviat » sur les flux de matières produits ainsi que sur l'évolution de certaines caractéristiques qualitatives ;
- (iv) La production et la formulation de recommandations sur la conception des *aires de compostage* et la gestion des toilettes et sous-produits associés dans l'objectif de la création d'une plaquette d'information.

1. Étude bibliographique

1.1. Cadre du travail bibliographique

L'objectif de cette étude bibliographique est de synthétiser des valeurs de références relatives aux paramètres usuellement suivis pour les différentes filières de traitement des sous-produits de l'assainissement. L'idée est de faciliter l'analyse des résultats des 2 volets de l'étude en disposant de valeurs comparatives dans des contextes variés les plus proches du compostage domestique des excréta pour la phase solide (le compost) et la phase liquide (lixiviats).

La recherche bibliographique a donc été menée sur les textes législatifs existants en France et dans d'autres pays lorsqu'il y avait vacance de données en France. Les pays où il a été trouvé à la fois le plus d'études et de textes législatifs sont la Suisse ou le Canada. L'étude inclut également l'exploitation des résultats de certaines thèses anglophones et des récentes études réalisées par l'IRSTEA de Rennes et l'INSA de Lyon.

Il est donc proposé une analyse comparative des paramètres habituellement suivis pour la majorité des filières de traitement des sous-produits solides de l'assainissement.

La réglementation en vigueur, les recommandations associées et les seuils des paramètres suivis (en phase liquide et/ou solide) ont été étudiés spécifiquement, pour l'assainissement collectif, l'assainissement non collectif, la gestion des boues, le compostage (domestique et industriel) et le stockage dans une Installation de Stockage des Déchets Non Dangereux (ISDND).

1.2. Tableau de synthèse bibliographique

La totalité de l'étude bibliographique est disponible en **Annexe 2**. Il a été fait le choix de ne présenter ici que le tableau de synthèse comparatif des caractéristiques des sous-produits liquides et solides de compostage domestique et de Toilettes Sèches qui a été élaboré à la fin de l'étude bibliographique.

Il s'appuie sur une compilation regroupée des travaux de l'IRSTEA de Rennes et sur la norme NFU 44 095 – sur le compostage caractérisé³ des amendements organiques – composts contenant des matières d'intérêt agronomique, issues du traitement des eaux; il compare des valeurs des principaux indicateurs physico-chimique, microbiologique et agronomique.

Ainsi, la présente étude utilise les résultats de ce travail et ce tableau en particulier comme base de comparaison dans l'analyse des résultats.

³ Compostage aérobie incluant une montée en température (>40°C).

Paramètres suivis dans le cadre de l'étude		Phase solide		Phase liquide			
		Compost de biodéchets domestique ⁴	Compost industriel (NFU 44-095)	Lixiviats issus des ISDND ⁵	Eaux de ruissellement issues du compostage industriel	Eaux usées traitées (AC)	Eaux usées domestiques traitées (ANC)
paramètres physico-chimiques	MES	-	-	<5.25 g/j/1EH	<15 g/j/1EH	<5.25 g/j/1EH	<0.09 kg/j/20EH = 4.5 g/j/1EH
	pH	7 - 8	-	5,5 - 8,5	5,5 - 8,5	-	-
	DCO	700-800 gO ₂ /kg MS	-	< 18.75 g/j/1EH	<45 g/j/1EH	<18.75 g/j/1EH	-
	DBO ₅	-	-	<4.5 g/j/1EH	<15 g/j/1EH	<3.75 g/j/1EH	<0.105 kg/j/20EH = 5.25 g/j/1EH
paramètres microbiologiques	E. coli	600-63000 UFC/g	<10 ³ /g MB	275 UFC (norme canadienne)	-	10 ¹ -10 ⁵ UFC/100ml	-
	Entérocoques	400-16000 UFC/g	<10 ⁵ /g MB	-	-	10 ¹ – 10 ³ UFC/100ml	-
paramètres agronomiques	MS	60% (40% CD individuel) ⁶	>50 % sur MB	-	-	-	-
	MO	45-50 % MS	>20 % sur MB	-	-	-	-
	NTK	20g /kgMS (0.65% MB CD individuel)	<3 % sur MB	< 4.5 g/j/1EH	<4.5 g/j/1EH	<2.25 g/j/1EH	-
	K ₂ O	0.58% MB	<3 % sur MB	-	-	-	-
	P ₂ O ₅	0.43 % MB	<3 % sur MB	-	-	0.3 g/j/1EH	-

Tableau 1: Synthèse des normes et réglementations existantes sur les composts et lixiviats formant des référentiels comparatifs

⁴ Valeurs moyennes obtenues pour les silos en bois des études IRSTEA – étude sur le compostage de déchets de cuisine et de jardin.

⁵ ISDND : Installation de Stockage des Déchets Non dangereux.

⁶ Valeurs moyennes obtenus pour l'étude sur le compostage domestique individuel de 19 foyers.

2. Matériel et méthodes

2.1. Mise en place du protocole scientifique

Après plusieurs mois d'échanges (fin 2011-début 2012) avec les Agences de l'Eau Loire-Bretagne et Rhône-Méditerranée-Corse, ainsi que l'ADEME, une réunion du comité de pilotage de l'étude a été organisée le 08 juin 2012.

Cette réunion a eu pour objectif de valider la définition du protocole expérimental des deux volets de l'étude (après plusieurs révisions notamment sur la partie compost pour raisons technique et budgétaire) en lien avec les partenaires techniques et institutionnels que sont le RAE, le LTHE de Grenoble, l'IRSTEA de Rennes et les ministères de la Santé (via sa Direction Général de la Santé) et de l'environnement (via sa Direction de l'Eau et de la Biodiversité).

C'est dans ce cadre que 2 volets ont été définis :

- Volet 1 : Traitement des sous-produits de toilettes sèches par compostage
- Volet 2 : Caractérisation des lixiviats produits au niveau d'une aire de compostage de sous-produits de toilettes sèches.

Sur le volet 1, seuls les 3 paramètres « indicateurs de traitement » (*E. coli*, *Entérocoques*, *Cl. perfringens*) de la norme NFU 44-095 sont utilisés pour la microbiologie. Leur évolution permet d'apprécier l'efficacité du traitement par compostage. À souligner que la pertinence des autres indicateurs (ASR 37 et formes sporules) n'est pas clairement établie pour ce type d'étude (traitement à l'échelle familiale). Cette étude permet ainsi d'apprécier leur pouvoir en tant qu'indicateur pour des installations de toilettes sèches familiales.

Sur le volet 2, trois analyses ont été réalisées :

- à la fin du remplissage du bac à compost (environ 6 mois après le début de remplissage),
- à 6 mois de compostage (à compter de la dernière vidange)
- à 12 mois de compostage.

Lors des prélèvements, des duplicas ont été réalisés et analysés pour avoir une fiabilité des données suffisante. Le choix des indicateurs microbiologiques n'a pas encore fait l'objet d'un travail aussi avancé que pour le volet 1.

Il semble cohérent que les mêmes indicateurs soient retenus sur les 2 volets. Une partie des données fut relevée par les familles sélectionnées. Il s'agit notamment des masses d'intrants (volet 1 et 2) et de mesures à l'aide de bandelettes colorimétriques (pH et formes de l'azote – volet 2).

2.2. Durée de l'étude

Pour le volet 1, un protocole cinétique de l'étude a été défini, le suivi est réalisé sur 6 aires de compostage familiales et ce pendant 1,5 années. Cette durée correspond au début de la phase de remplissage du premier bac jusqu'à un an de compostage (6 mois de remplissage du premier bac + un an de compostage successif). Cette durée ne couvre pas la totalité de la période actuellement recommandée par le RAE (2 ans de compostage) mais a été estimé comme suffisante d'un point de vue de l'hygiénisation des matières avec possibilité de prolongation si besoin.

Pour le volet 2, le suivi de 4 aires de compostage, pendant les 6 mois de remplissage du premier bac (période la plus sensible pour la production de lixiviats) a été défini.

La durée totale de l'étude est donc de 2 ans (dont 1,5 de suivi) : de juin 2012 à juin 2014.

2.3. Les sites d'étude

a) Choix des sites d'étude

Les aires de compostage utilisées pour le volet 2 sont choisies parmi les 6 aires de compostage du volet 1. Leur localisation est répartie sur les bassins RMC et LB en cohérence avec les exigences des bailleurs du projet.

La sélection des familles a été importante puisqu'il leur a été demandé de respecter un protocole de gestion tout au long de l'étude et de participer à l'acquisition des données. Il a été possible de trouver des familles motivées par le projet notamment via des structures membres du RAE ayant déjà une gestion proche des protocoles retenus. Ainsi, 6 familles ont été retenues pour être suivies. Elles utilisent toutes des TLB et réalisent le compostage dans des aires à 3 bacs clos et protégées des intempéries.

Ne pas demander de modification du comportement des usagers était important pour limiter les risques de non-respect des consignes. Une caractérisation détaillée a été nécessaire lors du choix afin d'être utile lors de l'interprétation des résultats (voir ci-dessous).

b) Structures de suivi

L'étude a été organisée auprès des familles grâce à l'implication de structures de suivi membres du RAE.

Site	Structure en charge du suivi
Nyons	TDM
Plédran	Humusséo
Kergrist Moelou	Terhao
Landévant	Aqualogik
Gigondas	Chlorophylle
St Barthélémy	Terhao

Figure 1 : Répartition des structures de suivis par famille / sites

Les familles ont pu être renseignées sur le fonctionnement et les protocoles de l'étude grâce à la diffusion d'une synthèse de présentation de l'étude disponible en **Annexe 3**.

Dans la même dynamique, un guide de recommandation aux structures chargés de suivi des sites est rédigé et disponible en **Annexe 4**. Il est possible de retrouver dans ce document les modes opératoires détaillés concernant les prélèvements et échantillonnages des composts et lixiviats.

c) Implantation des sites d'étude

2 sites sont situés dans le sud de la France (Nyons et Gigondas) dans un climat méditerranéen plutôt sec bien que le site de Nyons soit en versant Nord sous des arbres. Les quatre autres sites sont situés en Bretagne (Kergrist Moelou, Landévant, Plédran et St Barthélémy) dans un climat océanique tempéré.

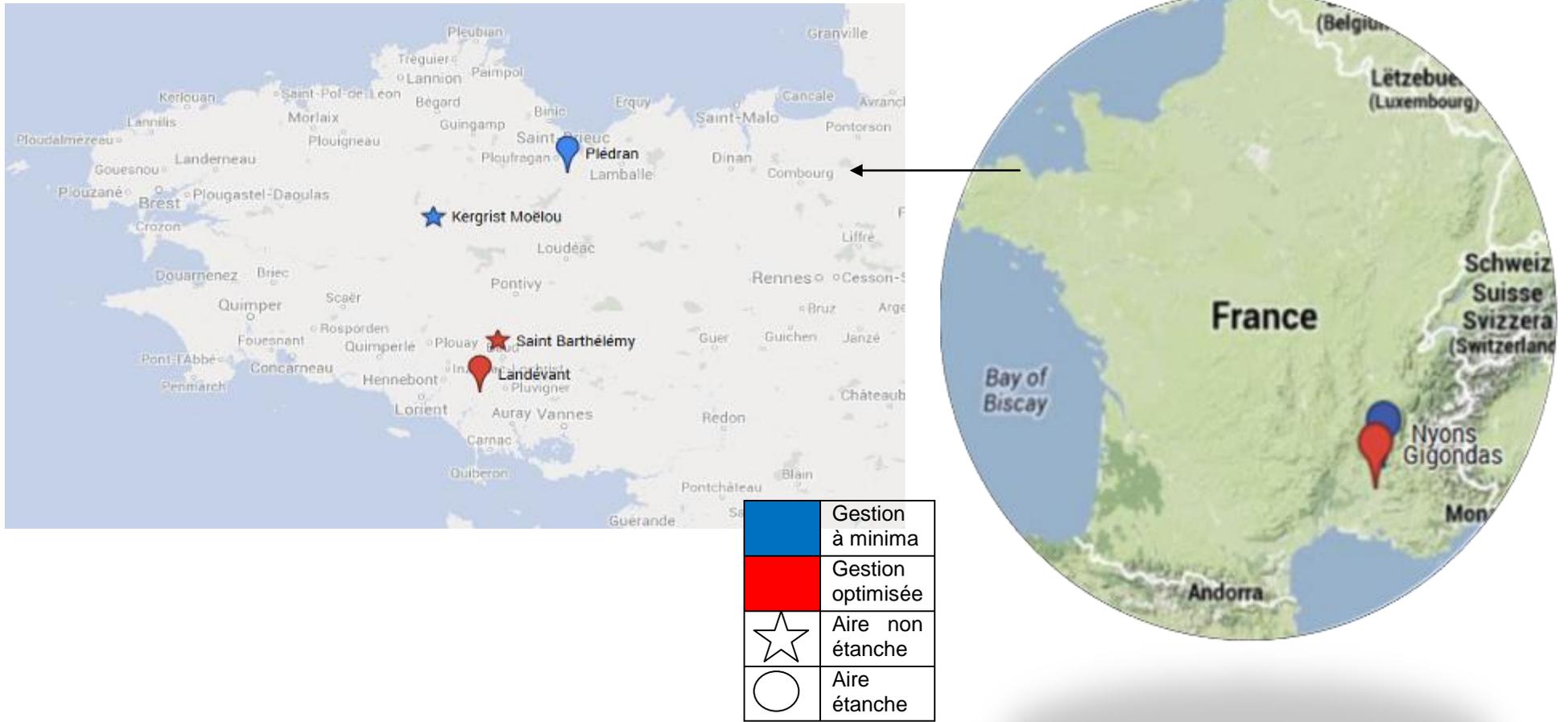


Figure 2 : Localisation des sites d'étude

2.4. Les composteurs

Les composteurs de l'étude sont auto-construits ou issus de produits manufacturés afin de représenter au mieux la diversité des dispositifs que l'on peut rencontrer en France à ce jour. Ils sont : de volume utile d'un minimum de 1m³, clos afin de limiter l'accès aux nuisibles (mammifères, etc.) et l'assèchement du compost, protégés des intempéries par un toit étanche amovible. Certains sont équipés de drains pour éviter la pénétration d'eaux de ruissellement.

Les 4 composteurs à aires étanches ont un fond de composteur étanche qui permet la collecte des jus de compost (« lixiviats ») dans un récipient étanche.



Photo 1 : Composteur de Gigondas, aire étanche à gestion optimisée (vues extérieure et intérieure)

Les aires non étanches quant à elles, sont réalisées avec des composteurs posés à même le sol, permettant ainsi l'infiltration dans le sol des lixiviats.



Photo 2 : Composteur de Kergrist, aire non étanche (vues extérieure et intérieure) à gestion à minima (3 compartiments)

2.5. Précisions sur le protocole : litières et modes de gestion

a) Les litières employées

Le type de litière utilisée est généralement un mélange de sciure et de copeaux, conformément à la pratique la plus répandue. L'origine de cette litière est laissée libre (feuillus ou résineux). L'ajout de déchets de cuisine et de déchets verts n'est pas autorisé, bien que cette pratique soit relativement répandue pour diversifier les apports

et faciliter le compostage, cela afin d'éviter les biais d'analyses qu'apporteront ces ajouts (dilution, difficulté à les caractériser correctement, etc.).

b) Les modes de gestion des composteurs

Afin d'étudier l'effet de certaines variables sur le processus de compostage et d'hygiénisation, les 6 installations suivies sont réparties en 2 groupes de 3 installations aux caractéristiques différentes. La variable retenue est celle du type de gestion par les usagers. En effet, la pratique du compostage de sous-produit de toilettes sèches peut aller d'une gestion à minima, simple entreposage des vidanges successives dans les composteurs, à des modalités plus élaborées : brassage de la couche superficielle lors des vidanges, arrosage selon le taux d'humidité observé (généralement trop sec dans le cadre de toilettes sèches), retournements complets des bacs au cours du processus de compostage, etc.

Cette gestion améliorée permettrait un compostage plus actif et donc possiblement plus rapide. Mais aucune donnée ne permet de confirmer qu'elle assure également un traitement plus hygiénisant. Le protocole d'étude a donc retenu 3 aires de compostage avec gestion « à minima » et 3 aires de compostage avec gestion « optimisée ». Il sera ainsi possible de préciser les plus-values engendrées par une gestion « optimisée » vis à vis d'une gestion « à minima » concernant notamment l'hygiénisation.

Localisation	Département	Nb d'adultes	Nb d'enfants	Nb de TS	Mode de gestion du composteur	Étanchéité
Nyons	(26)	2	2	1	A minima	Oui
Plédran	(22)	2	3	2	A minima	Oui
Kergrist	(22)	2	2	1	A minima	Non ⁷
Landévant	(56)	2	2	2	Optimisée	Oui
Gigondas	(84)	2	1	1	Optimisée	Oui
St Barthélémy	(56)	2	2	1	Optimisée	Non

Tableau 2 : Informations sur les sites d'étude.

Voici le résumé des gestes différenciant les 2 types de gestion des composteurs :

- La **gestion « à minima »** désigne les conditions de gestion du composteur basique et accessible à l'usager « lambda » c'est-à-dire que les vidanges sont faites en versant le contenant du réceptacle à la surface des matières en compostage. Après la vidange, le seau est nettoyé à l'eau claire à l'aide d'une brosse et l'eau est ensuite reversée dans le composteur. Les matières vidangées peuvent être (sans obligation) recouvertes d'une couche de matière carbonée. La rectification de l'humidité n'est pas autorisée.
Pour les aires de compostage avec gestion à minima, la méthode des quartas entraîne un brassage non souhaité des matières. Pour ces aires sans retournement, le composteur est séparé en 3 sections égales à l'aide d'un grillage fin. La première section est utilisée pour le premier prélèvement, la seconde pour le deuxième prélèvement et la troisième pour le dernier prélèvement. Ainsi, le brassage induit par les prélèvements impactent au minimum l'évolution des matières non brassées restantes.
- La **gestion « optimisée »** indique les conditions de gestion du composteur permettant une optimisation du processus de compostage : les vidanges sont faites en brassant les premiers centimètres du compost avec les matières ajoutées, il faut à ce moment-là vérifier le taux d'humidité des matières en

⁷ La réglementation impose que l'aire de compostage soit étanche. Dans le cadre de l'étude, les sites non étanchéifiés sont des sites expérimentaux.

compostage. Après la vidange, le seau est nettoyé à l'eau claire à l'aide d'une brosse et l'eau est ensuite reversée dans le composteur. Les matières vidangées peuvent être recouvertes d'une couche de matériaux carbonés couvrants selon l'état du compost pour favoriser son aération. Le remplissage du composteur se fait de manière homogène sur l'ensemble de la surface et il est possible d'ajuster le taux d'humidité en arrosant.



Photo 3 : Composteur de St Barthélémy, aire non étanche et à gestion optimisée (1 compartiment). Le petit compartiment à droite permet de stocker la matière carbonée pour le compost.

2.6. Méthodologie des mesures physico-chimiques in-situ

Ces mesures fréquentes ont été faites par les structures en charge du suivi (membres du RAE) ou par des dispositifs posés préalablement (températures). Le volet lixiviat est particulièrement concerné par ces mesures.

a) Estimation des masses entrantes

Les familles/structures en charge du suivi ont tenu des tableaux de passage dans les toilettes sèches renseignant deux catégories : «adulte»/«enfant» et «urine seule»/«urine + fèces». Rappelons que la consigne destinée aux familles était un emploi exclusif de la (ou des) TLB pour tous les membres de la maison quel que soit le type de commission. Le canevas de ces fiches de suivi des intrants pour l'estimation des flux est disponible en **Annexe 5**.

- Les masses d'urine et de fèces introduites dans les composteurs ont été estimées avec les données relevées par les familles. Pendant les six mois de la phase de remplissage du composteur, à chaque vidange des toilettes sèches, les masses de résidus déversées ont été relevées. Les différentes pesées ont été réalisées à l'aide d'un pèse personne et d'une balance de cuisine.
- La masse de lixiviats ayant percolé à travers le massif de compost a été relevée à l'aide d'un bidon gradué et d'une balance entre chaque vidange.
- Les masses de litière carbonée apportées directement dans le composteur, à chaque vidange - souvent de composition différente de celle ajoutée dans les toilettes – et celle d'usage dans la toilette ont été évaluées. Il a été estimé à partir des achats / fourniture de litière, que l'apport de cette dernière était régulier à chaque vidange.



Photo 4 : Bidon de récupération des lixiviats

b) Mesures des températures

Des mesures de températures ont également été réalisées, elles sont interprétées dans le volet compost. Ce suivi a été réalisé de deux façons complémentaires.

La première par le biais de thermoboutons placés à l'intérieur des composteurs ; au nombre de trois par compartiment et le second par des mesures manuelles à l'aide d'un thermomètre à compost.

Caractéristiques des thermoboutons



Photo 5 : Thermobouton et son lecteur USB

Ces thermoboutons en acier de 17mm de diamètre et 6 mm d'épaisseur résistent aux températures comprises entre -40°C à 85°C et ont une résolution de 0.5°C. D'une autonomie d'un an, ils ne peuvent pas stocker plus de deux milles mesures. Ils ont été distribués par Amatemperature.

Le retour d'expérience dans des contextes similaires a montré une défaillance partielle de ces thermoboutons. C'est pourquoi 2 mesures compensatrices ont été choisies (i) la mise sous enveloppe plastique étanche des thermoboutons et (ii) le relevé manuel de mesures.

Caractéristiques des positionnements

Le type de gestion impacte directement le nombre de compartiment du composteur. Lors de l'échantillonnage pour une gestion « à minima » le compartiment de prélèvement est totalement vidangé, ainsi 3 thermoboutons sont nécessaires par compartiment pour la continuité de la mesure.

Pour une retranscription la plus fidèle possible des conditions moyennes de compostage dans les silos en bois, ils ont été répartis, sur un grillage de type treillis de la manière suivante :



Photo 6 : Implantation de thermoboutons protégés par du scotch et une enveloppe étanche (Aire de Nyons étanche et à gestion à minima)

- (i) à 15 cm du bas, au centre du composteur (permettant de relever la température en périphérie du compost)
- (ii) au centre du composteur (afin de relever la température centrale du compost plus chaude)
- (iii) à mi-hauteur du composteur et à 10 cm du bord extérieur de ce dernier.

Par conséquent, les composteurs à gestion à minima ont au total neufs thermoboutons (3 pour chacun des 3 compartiments) alors que les aires à gestion optimisée n'en ont que trois (1 seul compartiment).

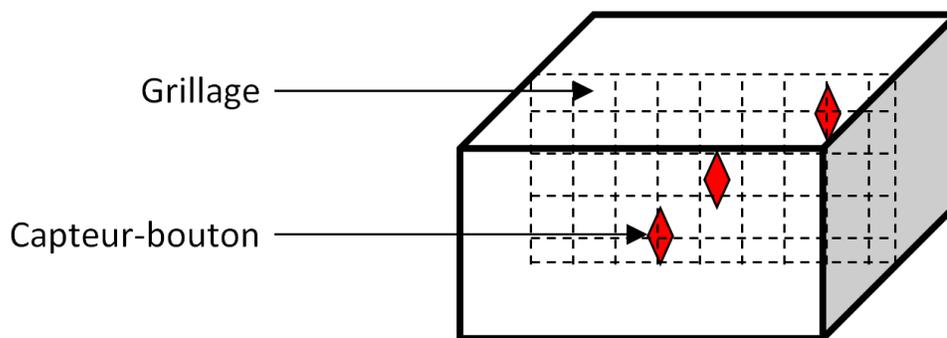


Figure 3 : Répartition des 3 thermoboutons pour un compartiment de composteur

Relevés manuels

En parallèle, des relevés de températures hebdomadaires doivent être effectués par les familles à l'aide d'un thermomètre à compost ; fourni au début de l'étude (voir **Annexe 6**, le canevas des fiches de suivi des températures).



Photo 7 : Thermomètre à compost

c) Indicateurs choisis pour les caractérisations chimiques in situ

Un protocole minimal de suivi des propriétés chimiques des lixiviats a été appliqué par les familles. Des mesures colorimétriques ont été réalisées sur chaque échantillon de lixiviats lors des mesures de volume. Elle consistait en :

- (i) une mesure du pH par bandelette (MN REF : 902 04)
- (ii) une mesure de concentration en Azote nitrique (nitrates et nitrites) (bandelettes MN REF : 913 13)
- (iii) une mesure de concentration en Azote ammoniacal (Kit colorimétrique MN REF : 913 15).

Des fortes concentrations en ammonium ont été observées préalablement au début de l'étude. Une dilution de facteur 20 a été retenue à la vue des gammes de mesures disponibles. Ces mesures présentent donc une précision faible mais constituent un bon indicateur de l'évolution de ces concentrations au cours du temps et peuvent être comparées avec les mesures en laboratoire.



Photo 8 : Analyse des ions Ammonium dans un lixiviat (dilution 10 et 20)

2.7. Mesures en laboratoire

a) Prélèvements et conditionnements pour le transport des produits

Échantillonnage du compost (volet 1)

De manière à suivre l'évolution bactérienne des indicateurs microbiologiques de l'assainissement tout au long du processus de compostage, trois campagnes d'échantillonnage sont réalisées au cours des 12 mois de la phase compostage (état initial, 6 mois de compostage, fin de la période : 1 an de compostage).

Ces prélèvements sont réalisés selon la méthode des quartas : la totalité des matières est répartie en 4 tas de mêmes volumes, sur un support stérile. 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. Cette méthode de prélèvement permet d'obtenir un échantillon homogène et représentatif des matières en compostage.

Dans le cas d'une « gestion optimisée », le compost est brassé dans sa totalité (photo 7) tandis que pour une gestion « à minima », lors d'une opération de prélèvement une des 3 parties est brassée (les matières brassées ne sont pas remis dans le composteur).

Après tamisage en maille d'1cm, un litre de compost est conditionné dans des sacs épais, neufs, hermétiques et opaques.



Photo 9 : Prélèvement d'échantillons par la méthode des quartas, sur le site de Gigondas

Échantillonnage des lixiviats (volet 2)

Pour les 4 aires concernées, les échantillons de lixiviats sont collectés dans le bidon utilisé au niveau de l'aire de compostage. Les prélèvements sont conditionnés dans des flacons neufs. Lors de chacune des 3 campagnes de prélèvements, deux échantillons de 1 litre de lixiviats sont prélevés par aire de compostage : 1 est utilisé pour les analyses microbiologiques et le 2ème pour les analyses physico-chimiques. La procédure de prélèvement est la suivante :

- peser le bidon de lixiviats et noter la valeur dans les fiches de suivi (**Annexe 5**)
- réaliser les tests bandelettes et noter les résultats dans les fiches de suivi (**Annexe 5**)
- remuer doucement le bidon pour remettre en suspension et homogénéiser les matières déposées au fond
- réaliser deux prélèvements de 500 ml
- évacuer ensuite les lixiviats dans le système de traitement des eaux usées de l'habitation. Il est interdit de les reverser dans le composteur. Une valorisation des lixiviats au jardin est possible si les utilisateurs le souhaitent après avoir pris conseil auprès de TDM.

Les prélèvements sont réalisés en début de semaine, puis expédiés par colis rapide de sorte qu'ils arrivent au laboratoire d'analyse le plus rapidement possible. Les échantillons sont conservés au frais à l'aide de plaques eutectiques (blocs congélation).

b) Chronologie et descriptif des analyses

Volet compost (1)

La première campagne d'échantillonnage a eu lieu suite au dernier apport de matières fécales (en juin 2013), la seconde 6 mois après le début de compostage (décembre 2013).

Les échantillons d'environ 1 L (en duplicas) sont envoyés à l'Institut de Santé Agro-Environnement de l'Ille et Vilaine (ISAE 35).

Les mesures effectuées sur les échantillons d'environ 1 L (en duplicas) sont :

- une mesure du pH (NFT 90008).
- une mesure des matières sèches (par pesée NF EN 12880)
- une mesure de l'humidité (par calcul).

Les mesures microbiologiques sont :

- une mesure des germes anaérobies sulfite-réducteurs à 37°C (NF EN ISO 7937)
- une mesure Spores de bactéries ASR à 37°C (NF EN ISO 7937)
- une mesure *Escherichia coli* (NF ISO 16649-2 _ V08-031 juillet 2001)
- une mesure *Entérocoques* fécaux (méthode interne ISAE – Stanetz BEA)
- une mesure *Clostridium perfringens* (NF EN ISO 7937)
- une mesure *Clostridium perfringens* : identification (NF EN ISO 7937)

Quant à la dernière campagne en juin 2014 ; un troisième échantillon a été additionné afin d'analyser sur ce dernier les paramètres agronomiques suivants :

- une mesure de la matière organique (NF EN 13039 ; en %P. Brut).
- une mesure du Carbone totale (colorimétrie à 585 nm ; en %P. Brut)
- une mesure de l'Azote totale N_{TK} (NF EN 13654-1 ; en kg/tonne)
- une mesure de l'Oxyde de Potassium K_2O (NF EN 13346 (ext) NF EN ISA 11885 ; en kg/tonne)
- une mesure du Penta-oxyde de Phosphore P_2O_5 (NF EN 13346 (ext) NF EN ISA 11885 ; en kg/tonne)

Volet Lixiviat (2)

Concernant le volet lixiviat, trois campagnes de mesures en laboratoire certifié (ISAE 35) ont été réalisées durant l'étude en janvier, mars et mai 2013. Les mesures physico-chimiques sont :

- une mesure du pH (NFT 90008).
- une mesure de la Matière En Suspension (NF EN 872).
- une mesure de la Demande Chimique en Oxygène (DCO, NFT 90101) et de la Demande Biologique en Oxygène à 5 jours (DBO, NF EN 1899-1).
- une mesure d'azote Kjeldahl (NF EN 25663), utilisé comme estimateur de l'azote total
- une mesure d'azote ammoniacal (NFT 90-015-1)
- une mesure d'azote nitrique (NF EN ISO 13395)

Les mesures microbiologiques sont :

- une mesure des anaérobies sulfite-réducteurs à 37°C (NF EN ISO 7937)
- une mesure *Escherichia coli* (NF ISO 16649-2)
- une mesure *Clostridium perfringens* (NF EN ISO 7937)
- une mesure *Clostridium perfringens* : identification (NF EN ISO 7937)
- une mesure Spores de bactéries ASR à 37°C (NF EN ISO 7937)4

3. Résultats et discussion

3.1. Volet 1 : Compost

a) Bilan des flux

Données brutes

Les vidanges et le remplissage des composteurs ont débutés en conditions hivernales du 08 décembre 2012 au 08 Juin 2013 inclus. Le volume moyen d'une vidange est celui d'un seau de 10 à 12 L et la périodicité moyenne est d'une vidange tous les 4 jours.

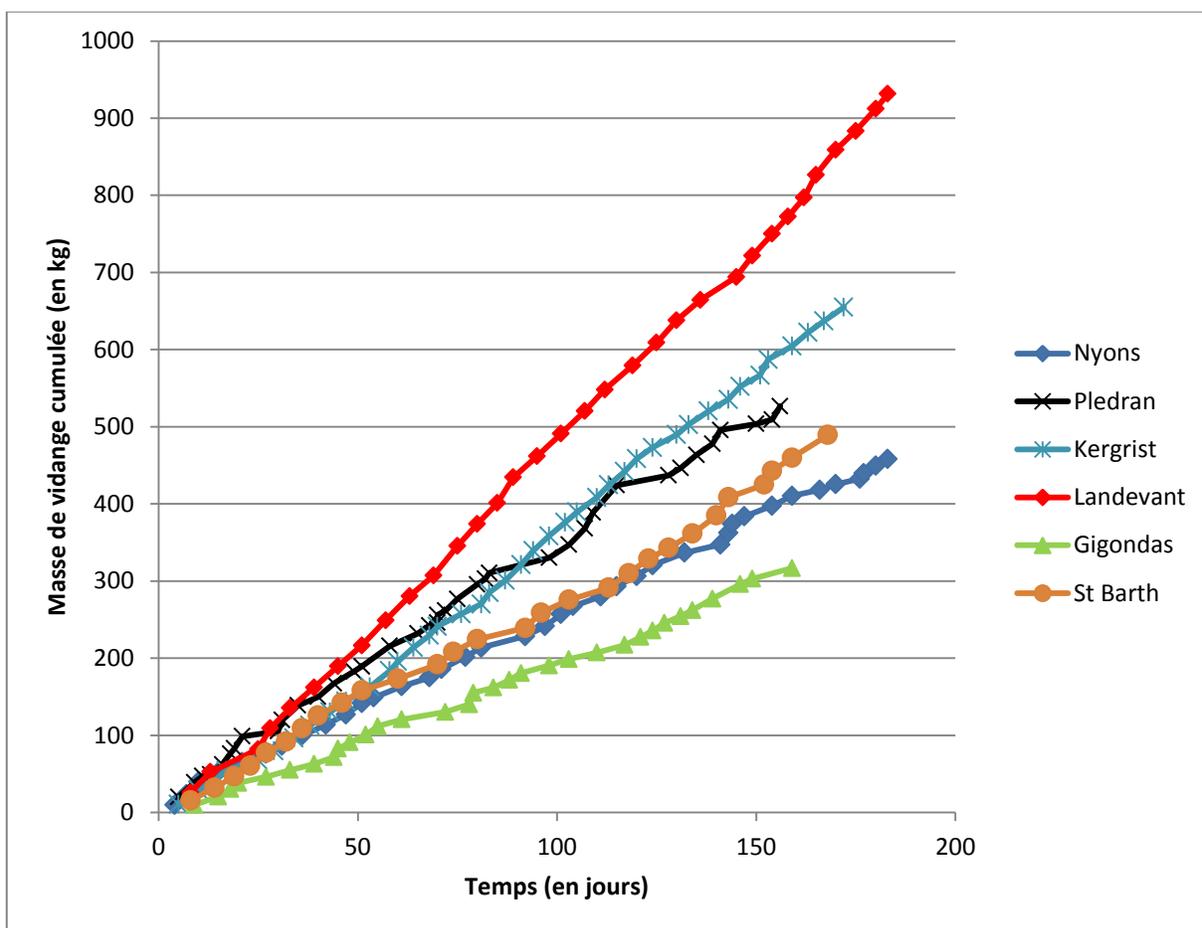


Figure 4 : Graphique représentant la masse vidangée cumulée (en kg) des différents sites d'étude

Au vu de ces courbes, une linéarité des vidanges est constatée. Il est donc possible de caractériser la pente de ces droites afin d'estimer un poids moyen de vidange journalier. Une régression linéaire est donc appliquée.

	Vidange par jour (kg)	R ²	Vidange d'excrétas par jour (kg)
Nyons	2,45	0,99	2,19
Plédran	3,32	0,99	2,52
Kergrist	3,99	0,99	3,31
Landévant	5,20	0,99	3,37
Gigondas	2,02	0,99	1,73
St Barth	2,79	0,99	2,40

Tableau 3 : Taux de vidange moyens par site d'étude et leur coefficient de corrélation

Le remplissage des composteurs présente une tendance très linéaire ($R^2 = 0,99$) pour chacune des familles. La fréquence de l'ordre d'une vidange tous les 4 jours permet de lisser correctement la production d'excrétas. Le taux de vidange (Tableau 3) correspond à la masse moyenne vidangée quotidiennement ; masses de fèces, d'urine et de litière. Il présente des différences importantes entre les six familles (allant de 2.02 à 5.20 kg/j).

Toutes les familles ont rajouté de la matière carbonée (de la paille) dans les composteurs après vidange des réceptacles.

Localisation	Type de litière	Masse totale de litière	Masse totale de litière couvrante (paille)
Nyons (26)	Sciure + copeaux de résineux	46,5 kg	3,5 kg
Plédran (22)	Sciure + copeaux de Douglas mélangé Chêne	144,4 kg	13 kg
Kergrist-Moelou (22)	copeaux Frêne et sciure de peuplier	122,7 kg	22,3 kg
Landévant (56)	Sciure de Pin (dépannages ponctuel en sciure de Douglas)	330 kg	16,5 kg
Gigondas (84)	Sciure de Cyprès et Épicéa	53 kg	18 kg
St Barthélémy (56)	sciure (peupliers/copeaux feuillus à 25% exotique) et feuilles de chêne	58 kg	5kg

Tableau 4 : Typologie et flux de matière carbonée

Les types de litières utilisées par les familles sont différents. Spécifiquement celle de Landévant est sensiblement supérieure en quantité aux autres sites. On note que pour ce site 2 TLB sont utilisés et que les parents travaillent à domicile.

En supposant que l'ajout de litière est uniforme, un taux de vidange d'excrétas moyen peut être calculé, qui reste néanmoins fortement variable d'un site à un autre (de 1.73 à 3.37 kg/j).

Proposition de dimensionnement des composteurs

À partir des données recueillis et des calculs faits précédemment, il est proposé des volumes de composteur minimum théorique, selon le nombre de personnes présentes dans le foyer.

composition de la famille (nombre de personnes)	vidange des excréta (en kg/j)	vidange des excréta (en kg/an)	Volume minimum du composteur (en m ³)
3	1,73	631,5	0,6
4	2,63 ⁸	960	0,96
4 (travail à domicile)	3,37	1230	1,2
5	2,52	920	0,92

Tableau 5 : Dimensionnement de composteur en fonction du nombre de personne dans le foyer

La colonne « vidange des excréta en kg/jour » correspond aux valeurs trouvées après régression linéaire et soustraction de la masse de litière (tableau 3).

$$V_{\text{composteur minimum}} \text{ (m}^3\text{)} = V_{\text{excréta par an}} \text{ (m}^3\text{)} = m_{\text{excréta}} \text{ (kg/an)} / \rho_{\text{excréta}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

avec $\rho_{\text{moyen des excréta}} = 1000 \text{ kg/m}^3$ ⁹

Par retour d'expérience, au bout d'un an la réduction de volume est d'environ 1/5.

Considérant que le volume en litière (paille après la vidange) apporté est négligeable, un composteur de 1,5 m³ minimum est conseillé pour une famille de 4 individus pour un an de remplissage.

b) Enregistrement de la température

Collecte des données

Rappelons que le suivi de la température a été réalisé de 2 façons. D'une part grâce aux thermoboutons présentés précédemment pour la période du 08 décembre 2012 au 08 décembre 2013 (phase de remplissage des composteurs + 6 mois de compostage) et d'autre part grâce à des relevés manuels. L'analyse de la température des composts portera donc sur cette période.

Malgré, le dédoublement de ces mesures, les résultats ne sont pas pleinement satisfaisants du fait que certains thermoboutons n'ont pas fonctionnés à cause du milieu « hostile » (humide et corrosif) malgré une protection plastique étanche, et que le suivi manuel n'a pas été réalisé exhaustivement sur tous les sites.

⁸ Moyenne des trois familles de l'étude composées de 4 personnes.

⁹ Valeur moyenne qui varie en fonction du régime des individus.

Site	Mesures obtenus				
	Températures		Paramètres physico-chimiques	Paramètres microbiologiques	Paramètres agronomiques
	Thermoboutons	Relevés manuels			
Nyons	4/9 fonctionnels (3 en haut milieu et 1 au bord)	Pendant le remplissage + 6 mois de compostage	3 campagnes	3 campagnes	1 campagne
Plédran	1/9 fonctionnel (au bord haut)	Aucun	3 campagnes	3 campagnes	1 campagne
Kergrist Moelou	0/9 fonctionnel	Pendant le remplissage	3 campagnes	3 campagnes	1 campagne
Landévant	0/3 fonctionnel	Pendant le remplissage	2 campagnes	2 campagnes	1 campagne
Gigondas	1/3 fonctionnel (au milieu)	Pendant le remplissage + 6 mois de compostage	4 campagnes	4 campagnes	1 campagne
St Barthélémy	2/3 fonctionnels (1 au bord et 1 au milieu)	Pendant le remplissage	4 campagnes	4 campagnes	1 campagne

Tableau 6 : Type / nombre de campagne réalisées par site

Seulement 8 thermoboutons sur 36 positionnés ont pu délivrer des données exploitables, soit seulement 22%. Comme aucun relevé manuel n'a eu lieu après la fin de la période de mesure des thermoboutons, ceux-ci font référence dans l'analyse ci-dessous quand les données sont disponibles. A défaut seront pris en compte les relevés manuels (cas de Landévant et de Kergrist Moelou).

Comparaison des relevés de thermoboutons sur les sites de Nyons et St Barthélémy

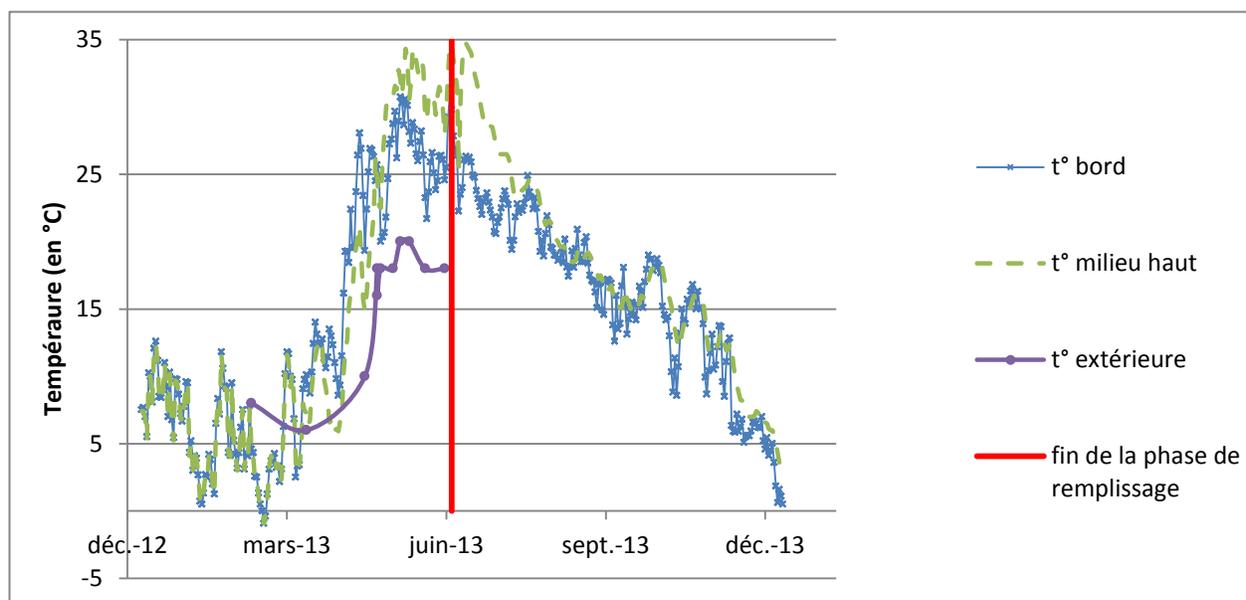


Figure 5 : Comparaison des relevés des thermoboutons à St Barthélémy

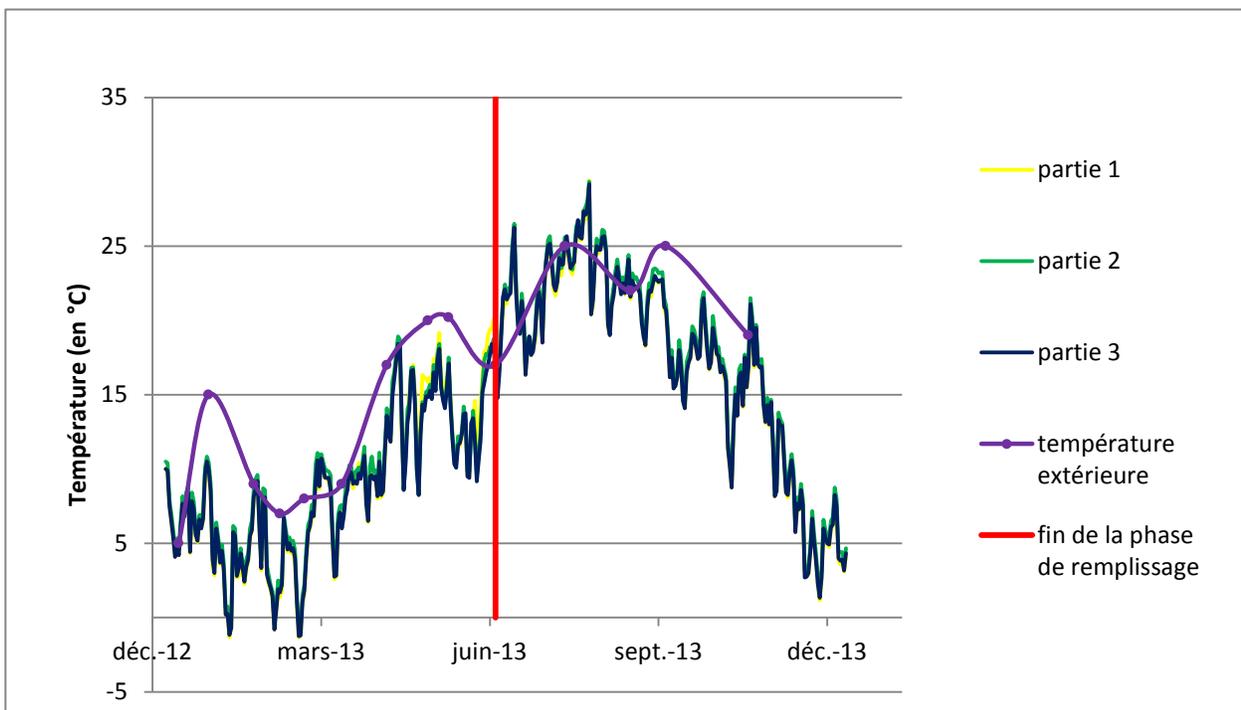


Figure 6 : Comparaison des relevés des thermoboutons à Nyons

Les figures 5 et 6 montrent une homogénéité de l'évolution des températures dans les différentes parties d'un même compost. Il apparait également qu'il peut y avoir des différences notamment avec les températures relevées aux bords des composteurs.

Comparaison des températures des composts avec la température extérieure

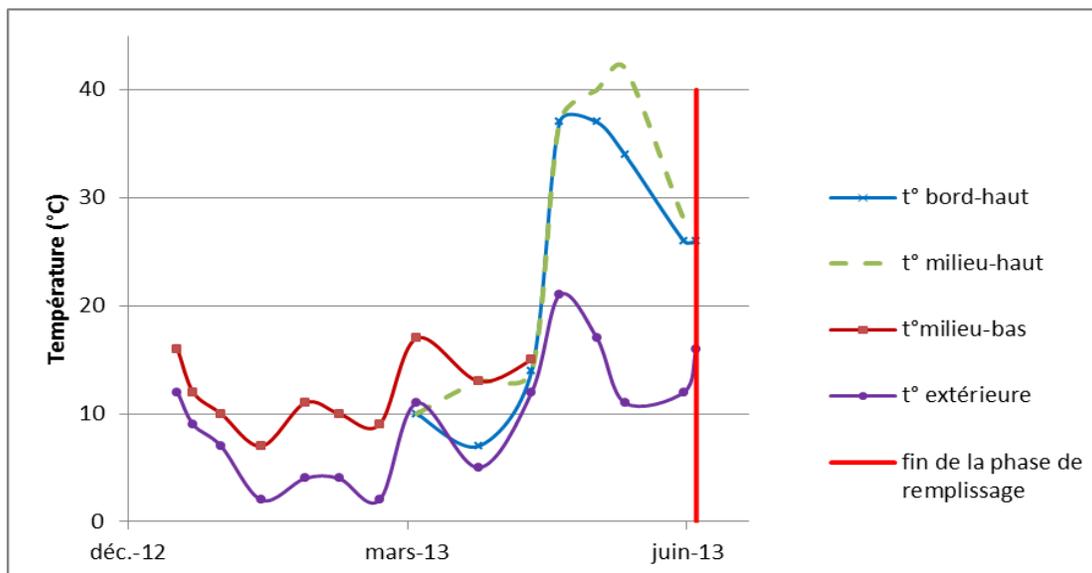


Figure 7 : Comparaison de la t° moyenne du compost avec la température extérieur à Kergrist-Moelou

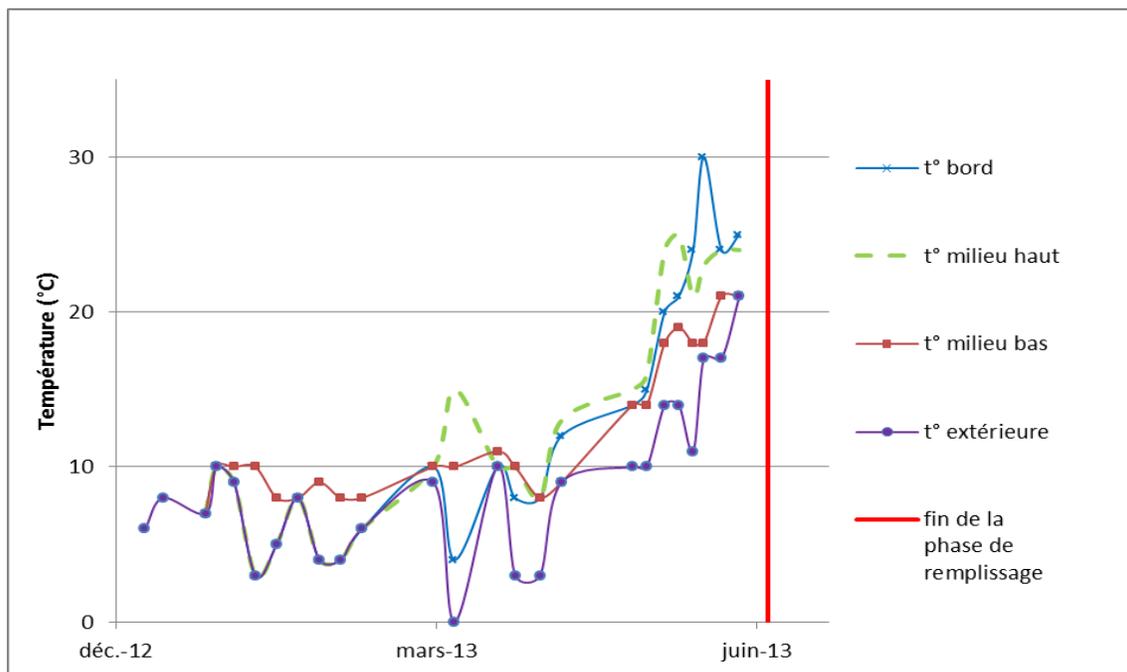


Figure 8 : Comparaison de la t°c moyenne du compost avec la t°c extérieur à Landévant

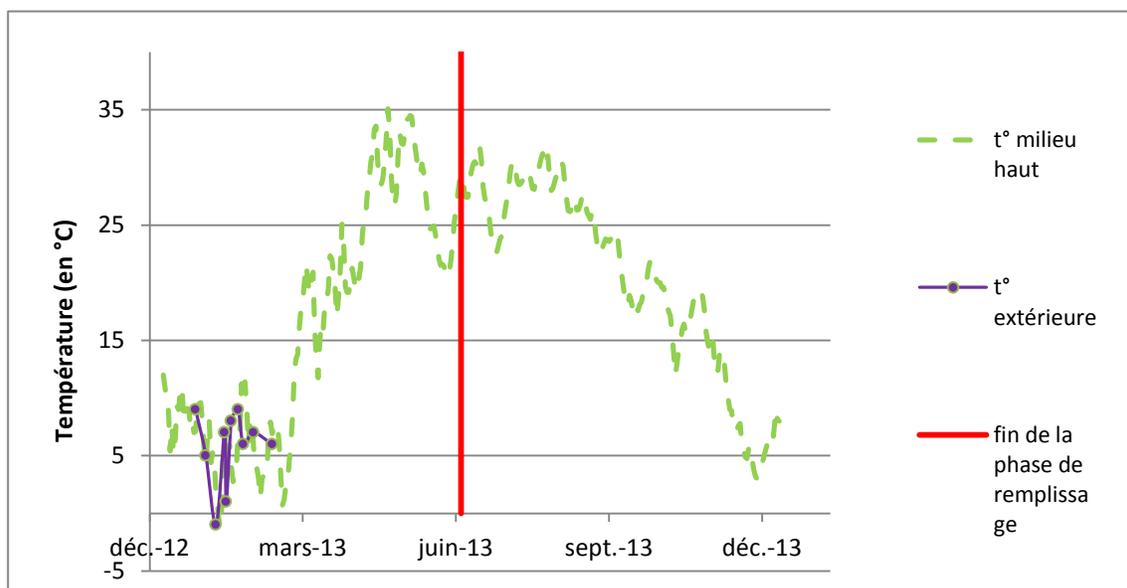


Figure 9 : Comparaison de la t°c moyenne du compost avec la t°c extérieur à Gigondas

Sur l'ensemble des figures de 5 à 9, il est possible d'observer que tous les composts (sauf à Plédran pour lequel il n'y a pas de base de comparaison) réalisent une montée en température au-dessus de la température ambiante bien souvent (sauf à Nyons) avant même la fin de la phase de remplissage des composteurs. Cette montée en température ne dépasse que difficilement les 35°C (cas de Kergrist Moelou) et ne se maintient pas durablement quel que soit le mode de gestion du composteur.

Ces figures indiquent également qu'en général les températures situées au centre du compost (milieu-haut) sont les plus chaudes avec le plus d'inertie et que les températures mesurées aux bords des composteurs subissent l'impact de la température extérieure. Les composts ont donc bien un rôle isolant.

Comparaison des températures selon les modes de gestion des composteurs

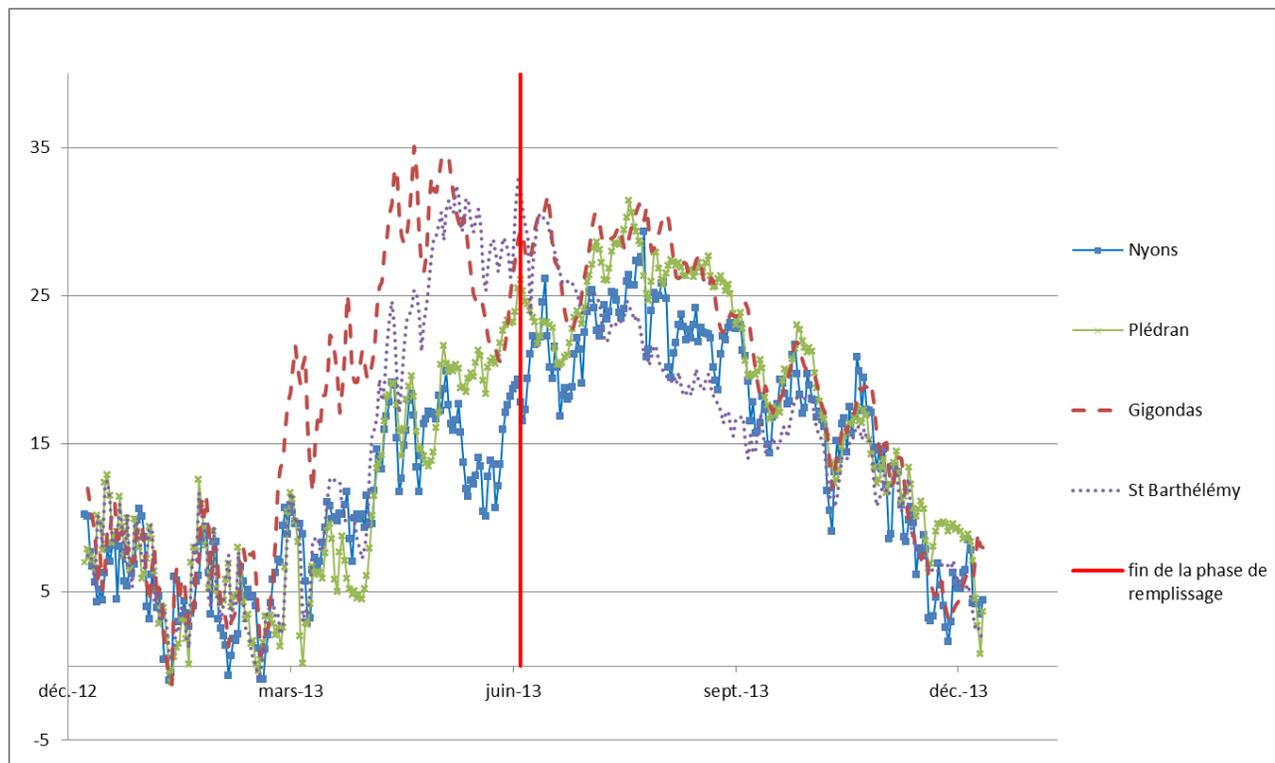


Figure 10: Comparaison de la température moyenne des thermoboutons des composteurs

Il a été choisi de ne pas présenter dans la figure 10, les moyennes des relevés manuels de sites de Kergrist Moelou et Landévant du fait du manque de données. De même, il faut garder à l'esprit dans la lecture de cette figure 10 qu'il s'agit de la moyenne de l'ensemble des données des thermoboutons par site alors que certains sites ne présentent qu'un seul thermobouton de fonctionnel.

L'analyse de la figure 10, laisse penser qu'une gestion optimisée (Gigondas et St Barthélémy) du composteur entraîne une augmentation de la température au sein du composteur plus rapide lors de la phase de remplissage. Il est beaucoup plus difficile de tirer une conclusion quant à la phase de compostage.

Spécifiquement, le prélèvement du mois de juin 2013 pour l'état des lieux physico-chimique et microbiologique des composts à fait l'objet d'un brassage intégrale des composts des aires à gestion optimisés mais n'a pas eu d'impact observable sur les températures.

Synthèse

Les températures les plus élevées caractérisent les processus de compostage aérobie et sont les indicateurs d'une activité microbienne.

Il est observé sur les sites de St Barthélémy, Kergrist-Moelou et Landévant, des températures supérieures à celles de l'air ambiant prouvant cette activité. Cependant ces montées en température n'excèdent pas les 40 °C au centre du compost et atteignent difficilement les 35°C.

Les sites à gestion optimisée semblent avoir une montée en température plus précoce que ceux à gestion à minima. Certains gestes lors de la phase de remplissage des composteurs pourraient permettre d'accélérer le démarrage d'une montée en température. Il est possible que les gestes ci-dessous portent impact:

- Brasser légèrement les matières fraîches avec celles plus anciennes.
- Répartir les nouveaux apports de manière homogène dans le composteur
- Ajuster le taux d'humidité en arrosant le compost si besoin.

D'après les recommandations de l'OMS (2006), afin de garantir une hygiénisation rapide du compost ce dernier doit atteindre des températures supérieures à 50°C et cela pendant 1 semaine. Il n'est pas observé de maintien de cette température suffisamment longtemps pour assurer une hygiénisation du compost. La meilleure observation est à St Barthelemy avec plus de 28°C pendant 40 jours consécutifs, ce qui n'est pas suffisant.

Ces résultats peuvent être expliqués par les faibles volumes de matières compostable (<1m³)¹⁰ issues des toilettes sèches ; dans la bibliographie ces hautes températures (>50°C) sont atteintes pour des volumes plus importants (généralement pour les andains agricoles ou le compostage en tas).

La faible montée en température peut laisser place à d'autres facteurs de destruction des pathogènes fécaux. Hors de l'organisme des phénomènes existent tels que l'influence du pH acide ou basique, la lumière, la durée de traitement, la compétition microbienne, l'ammoniaque, la production de substances toxiques pour les germes pathogènes, la stabilisation durable de la matière organique, etc. selon SCHONINING C. et T.A. STENSTROM (2004), SANDRIN E. et BRUGERE H. (2007), JAMIESON R.C. et al. (2002) et l'ADEME-INERIS-SYPREA-FP2E (2007).

c) Bilan physico-chimique

Le bilan physico-chimique porte sur 2 paramètres le pH et le taux d'humidité.

pH

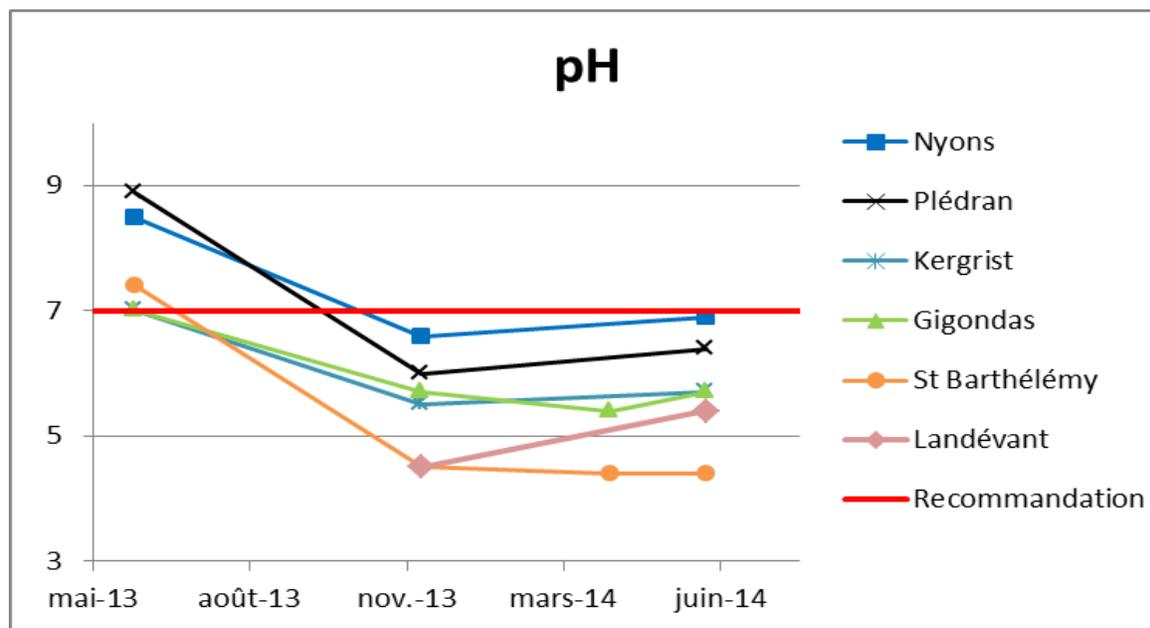


Figure 11: Comparaison de l'évolution des pH par site

Les mesures de pH montrent des tendances proches voir similaires pour les 6 aires d'études. Une phase plutôt basique est suivie d'une acidification du compost. La phase basique s'explique par la forte présence d'urée et d'ammoniac à la fin du remplissage. Puis le processus de compostage est associé à une acidification du compost due à la dégradation de la matière carbonée en acides organiques par les micro-organismes du milieu qui théoriquement doit revenir vers un pH neutre (légèrement basique) à l'issue du processus de compostage. En effet, tous les pH ont tendance à diminuer puis remonter au cours des 12 mois de la phase de compostage. A 6 mois de traitement, les pH sont tous trop acides, il ne s'agit pas d'un processus de traitement aérobie classique par comparaison au compostage de biodéchets.

¹⁰ La production de chaleur par les micro-organismes au cours du compostage est proportionnelle à la masse du tas, alors que les pertes de chaleur dépendent de la surface.

Une analyse croisée avec le type de litière utilisé montre que quel que soit l'essence de matière carbonée employée, il n'y a aucune influence sur le pH.

En parallèle, la dégradation des molécules organiques azotées en ammoniac augmente le pH. Ce phénomène commence à être observé lors de la dernière campagne (remontée de pH) sur certains sites : Nyons, Kergrist Moelou et Gigondas. Ainsi la décomposition des matières organiques ne semble pas terminée après un an de maturation.

Taux d'humidité (H %)

On observe un taux d'humidité relativement élevé sans être excessif pour tous les sites (entre 56,5 et 75,8%) excepté à Gigondas qui humidifie régulièrement son compost. Les sites à gestion à minima voient leur humidité diminuer tandis que les sites à gestion optimisée voient un maintien de leur humidité entre 60 et 70%. Ces taux d'humidité contribuent au développement bactérien nécessaire au compostage (condition idéale H < 60%).

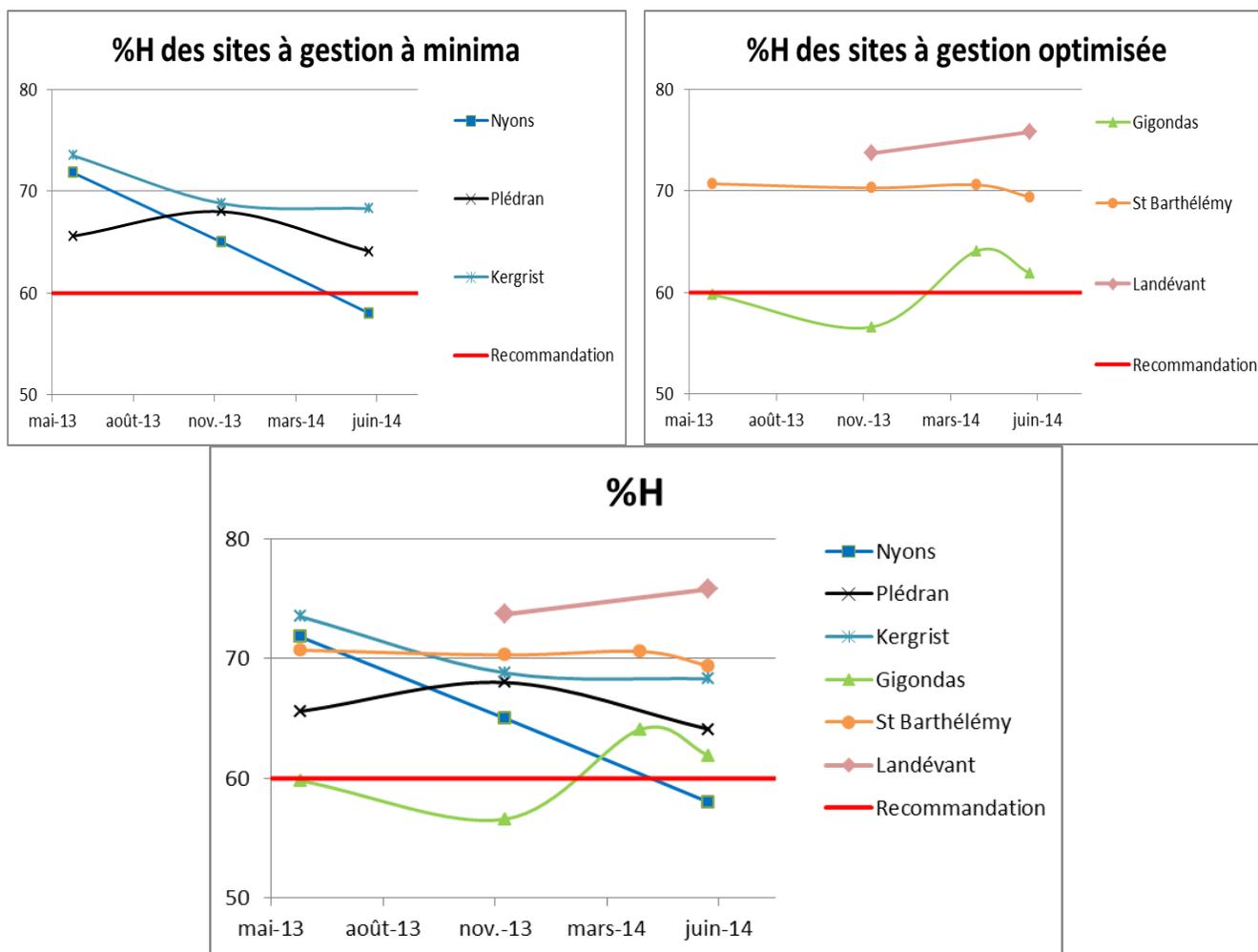


Figure 12 : Comparaison de l'évolution du taux d'humidité par site

Synthèse

La protection (toiture et parois étanches) de tous les composteurs de l'étude est particulièrement importante pour maintenir un taux d'humidité supérieur à 50% nécessaire au processus de compostage. Spécifiquement dans le contexte méditerranéen, l'ajustement de l'humidité est un plus.

La combinaison de la forte humidité et des faibles valeurs de pH semble inhiber l'action des micro-organismes qui ne trouvent pas des conditions propices à leur développement.

d) Bilan microbiologique

Sur tous les sites d'étude, les valeurs microbiologiques concernant les *Entérocoques* et *E. coli* sont satisfaisant car ils tendent à diminuer au cours du processus de compostage et sont inférieure à la norme NFU 44-095 (normes de référence)¹¹. La comparaison du bilan microbiologique de cette étude avec cette norme est limitée puisque le processus de traitement observé pour les sous-produits de toilettes sèches à litière ne fait pas l'objet d'une augmentation de la température de manière caractérisée.

Pour les aires optimisées, un prélèvement supplémentaire (2 bis en avril 2014) a été réalisé car suite aux analyses microbiologiques faites lors de la première phase de remplissage concernant le volet lixiviat, les trois prélèvements semblaient insuffisants pour interpréter les résultats dans ces conditions. Les aires à minima ne sont pas impliquées car le prélèvement nécessite un brassage complet du compost alors que cette pratique est interdite pour la gestion à minima dans cette étude. Le nombre de partie dans les composteurs (3) a été quantifié en connaissance de nombre de prélèvements à réaliser.

Escherichia coli

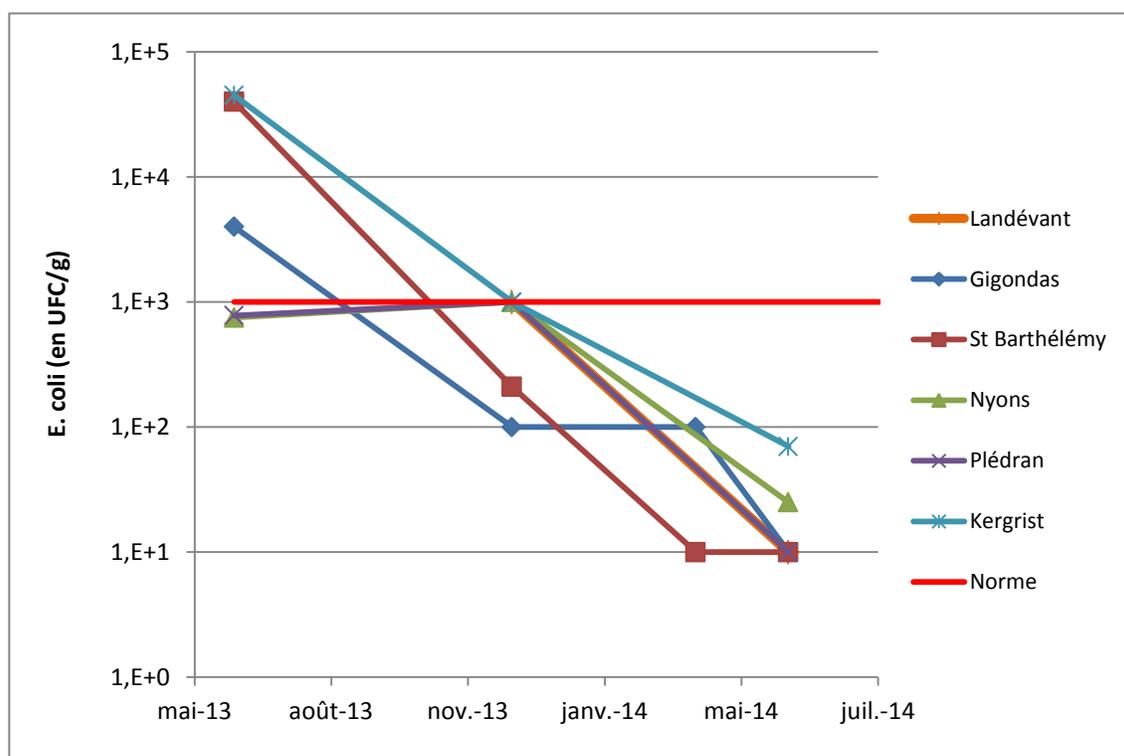


Figure 13 : Ensemble des résultats recueillis pour le paramètre *E. coli* (en UFC/g)

La présence d'*E. coli* décroît dans la première année de compostage, un taux d'abattement compris entre 1 et 3 log. Un milieu défavorable à son développement a ainsi été créé.

¹¹ Cette norme impose des seuils pour des composts de MIATE, matière proche de l'objet de cette étude. Cependant les conditions de compostage diffèrent. En effet, la norme mentionne un « compostage caractérisé » tandis que dans le cas de l'étude il s'agit d'un « compostage mésophile ».

Entérocoques

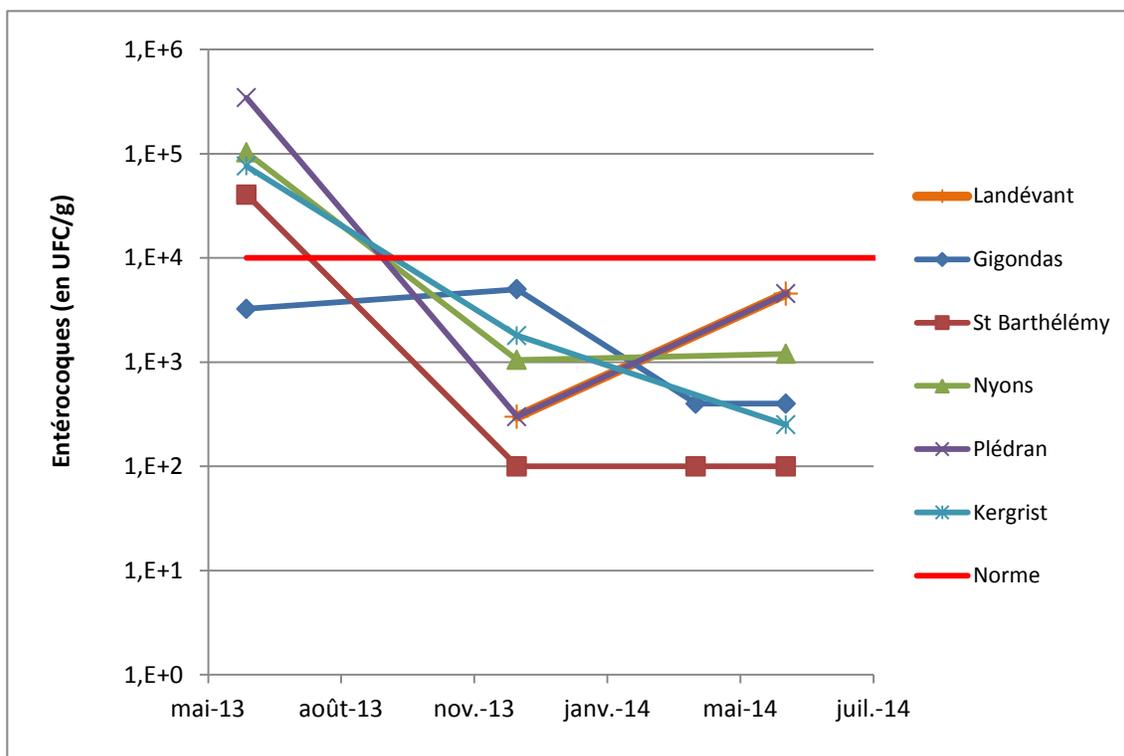


Figure 14: Ensemble des résultats recueillis pour le paramètre *Entérocoques* (en UFC/g)

La présence d'*Entérocoques* décroît dans la première année de compostage, un taux d'abattement inférieur à 2 log. Un milieu défavorable à leur développement a ainsi été créé.

Clostridium Perfringens

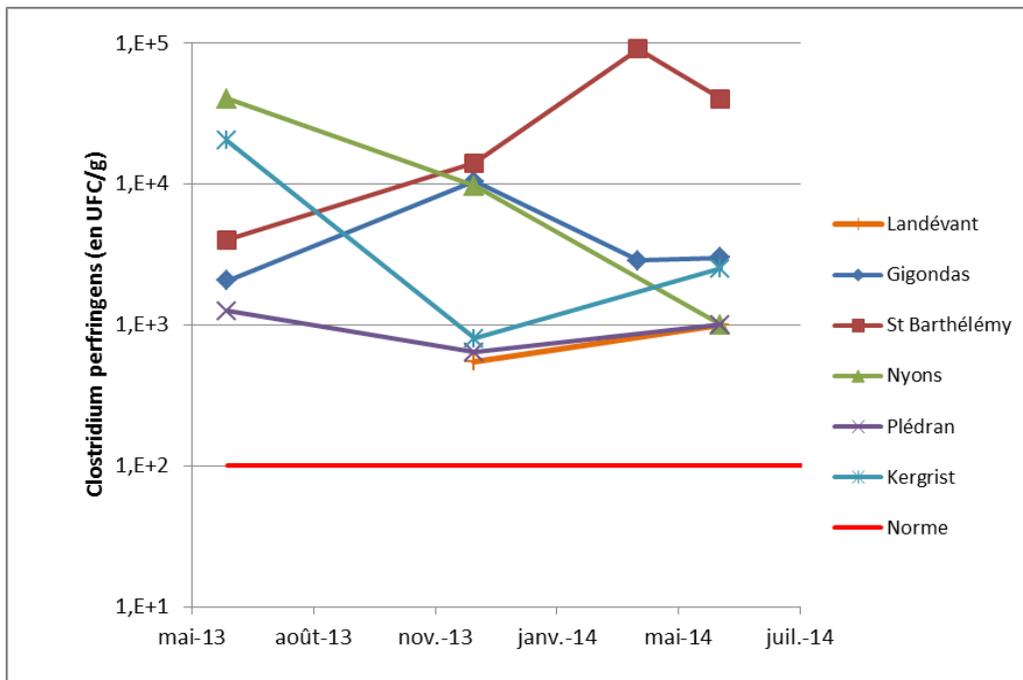


Figure 15 : Ensemble des résultats recueillis pour le paramètre *Cl. perfringens* (en UFC/g)

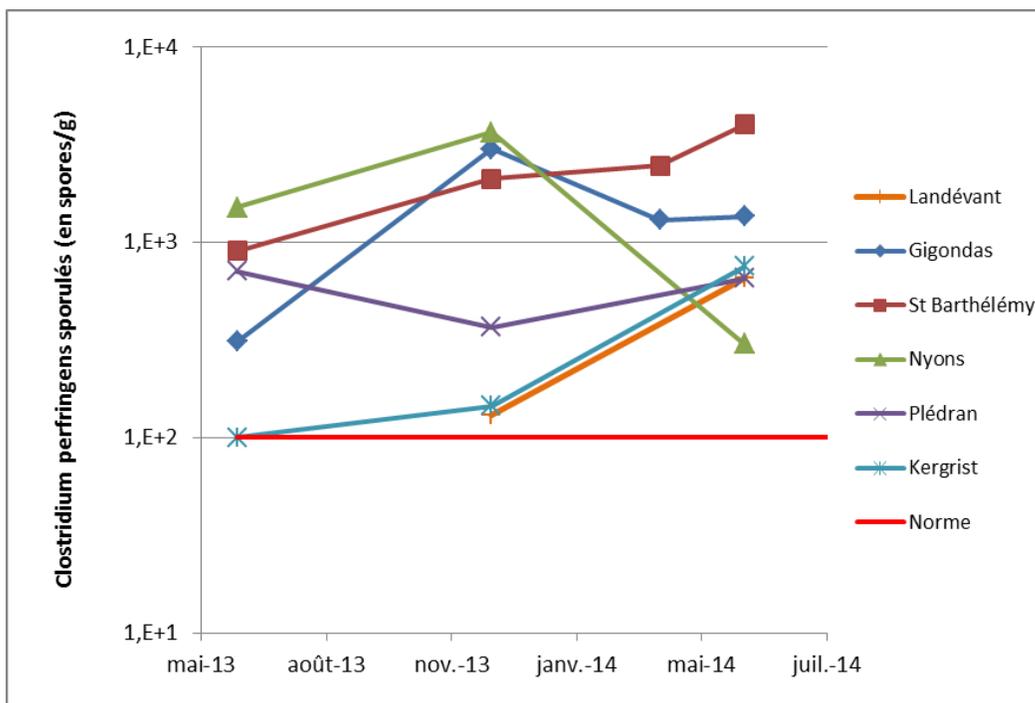


Figure 16 : Ensemble des résultats recueillis pour le paramètre *Cl. perfringens* (en spores/g)

Sur l'ensemble des sites, le nombre de colonies de *Cl. perfringens* a tendance à diminuer cependant la quantité de spores reste variable. Le processus de compostage mis en place quel que soit le site n'est pas entièrement défavorable au maintien de la bactérie *Cl. perfringens* dans le milieu.

Ces résultats sont en adéquation avec les observations empiriques. En effet, ces bactéries résistantes, notamment aux montées en températures, sont présents naturellement dans le sol, leur éradication est difficile (seul le chaulage à forte concentration permet un abattement entre 2-5 log).

ASR 37

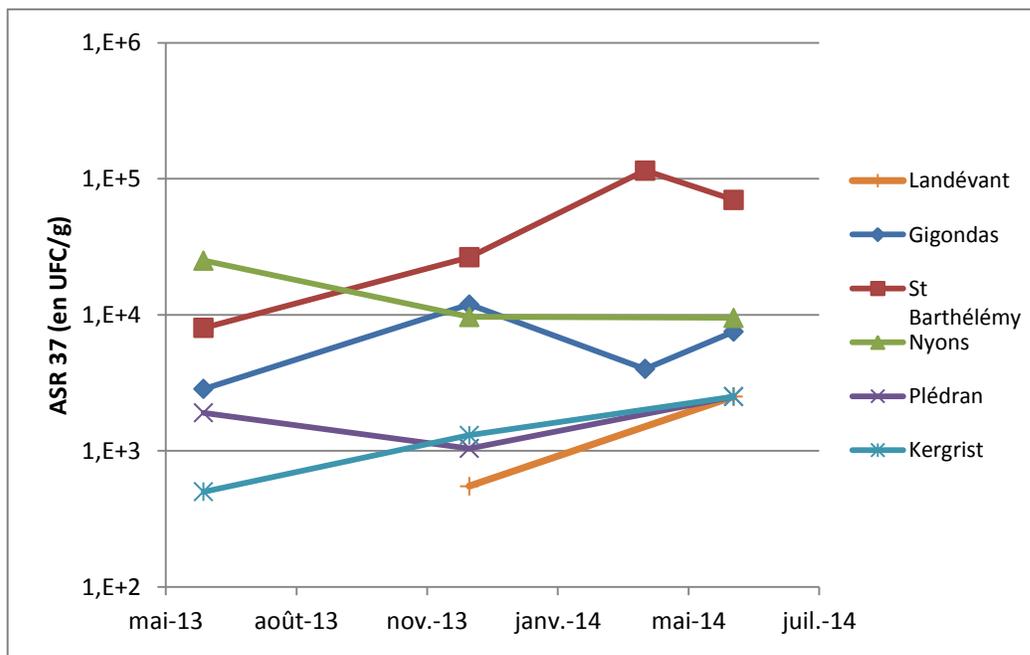


Figure 17: Ensemble des résultats recueillis pour les paramètres ASR 37 (en UCF/g)

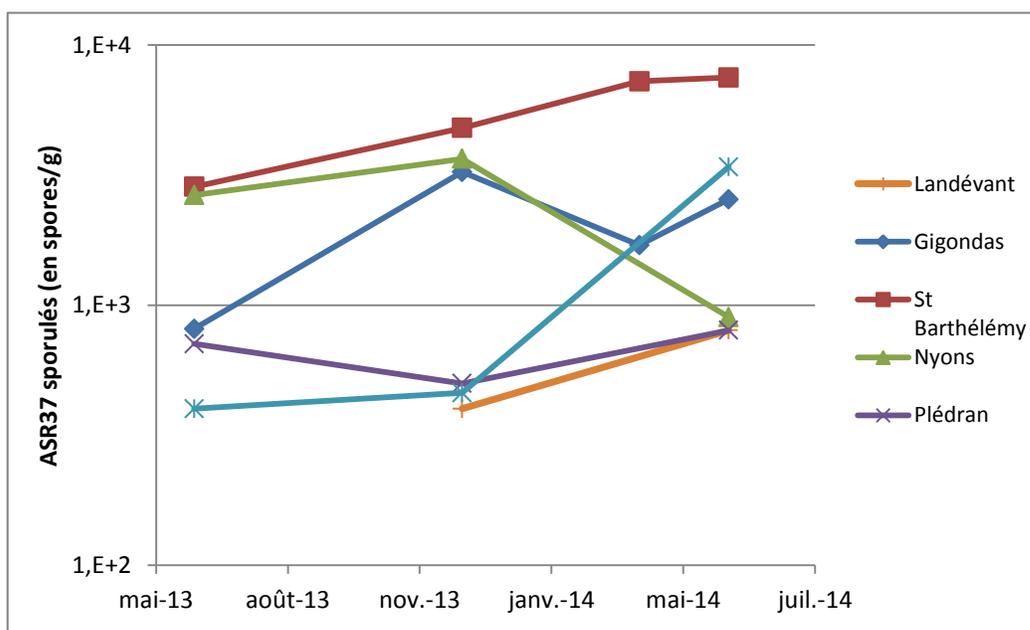


Figure 18: Ensemble des résultats recueillis pour les paramètres ASR 37 (en spores/g)

Il n'y a pas de norme comparative concernant les ASR 37. Leur taux est assez variable selon leur localisation (pas d'abattement ou croissance de 1 log).

Les données disponibles n'apportent pas suffisamment d'éléments pour voir émerger une tendance. Le nombre de colonies d'ASR 37 a tendance à diminuer avec le temps sur l'ensemble des sites. Le nombre de spores est plutôt stable ou en augmentation.

Les conditions créées par le compostage durant cette première année ne sont pas favorables au développement des ASR sans y être totalement défavorable. Ainsi, le processus de compostage mis en place quel que soit le site n'est pas entièrement défavorable au maintien des bactéries ASR à 37°C dans le milieu.

Synthèse

Le processus de traitement observé n'est pas du compostage caractérisé cependant quel que soit les sites il permet d'abattre les seuils de présence des paramètres microbiologique suivi de 3 log (satisfaisant pour les dispositifs en ANC) et faisant partie de la norme NFU 44-095 à savoir *E. coli* et les *Entérocoques*.

Compte tenu de l'évolution des formes résistantes de *Cl. perfringens* et ASR 37 (sporulées) qui ne sont pas éliminés ni même fortement diminués au-dessous d'un seuil significatif (à partir de 3 log) par le processus de traitement en cours au bout de 1 an, il est possible que d'autres agents pathogènes comme des parasites soient eux aussi présents.

La durée d'un an de traitement ne permet pas d'apprécier la pouvoir indicateur pour *Cl. perfringens* et ASR 37 pour des installations de toilettes sèches familiales.

Enfin, les abattements constatés ne sont pas suffisant pour qualifier le traitement d'hygiénisant. Il n'est pas non-plus possible de conclure quant à un impact direct du mode de gestion des composteurs sur l'abattement des paramètres microbiologiques suivis.

e) Bilan Agronomique

	Nyons	Plédran	Kergrist	Landévant	Gigondas	St Barthélémy
%H	58	64,1	68,3	75,8	61,1	69,4
MS (en % MB)	42	35,9	31,7	24,2	38,1	30,4
MO (en %P. Brut)	37,3	34	39,3	23,2	34,6	26,8
C_{tot} (en %P. Brut)	18,6	16,4	14	11,1	17	12,4
N_{tk} (en % MB)	0,79	0,64	0,56	3,3	0,56	0,37
C/N	23,5	25,6	25	33,6	30,4	33,5
K₂O (en % MB)	0,59	3,6	0,29	0,2	0,5	0,15
P₂O₅ (en % MB)	0,67	3,2	0,32	0,7	0,61	0,24

Tableau 7 : Valeurs agronomiques obtenues pour les différents sous-produits de Toilettes Sèches de l'étude.

Pour rappel, lors de la rédaction de la note de synthèse (voir chapitre 1 de ce rapport), il a été relevé que les teneurs agronomiques des composts issus du compostage de biodéchets étaient inférieurs au 3% réglementaire.

MO	45-50 % MS
N_{TK}	0,65% MB
K₂O	0,58%MB
P₂O₅	0,43 %MB

Tableau 8 : Récapitulatif des valeurs agronomiques moyennes d'un compost de biodéchets.

Pour un bon déroulement du processus de compostage, le rapport Carbone sur Azote préconisé est proche de 15.

L'interprétation des résultats C/N est difficile, car c'est la baisse du rapport C/N au cours du processus qui atteste d'une dégradation des matières avec perte de carbone (sous forme gaz carbonique normalement). Il aurait fallu une mesure du C/N par sites, des matières fraîches (à l'état initial, proche de 30).

Concernant le paramètre de la matière organique, tous les sites sont en adéquation avec la norme en vigueur (NFU 44-095, >20% sur MB) ; alors que les résultats obtenus pour la matière sèches sont plutôt faibles pour l'ensemble des sites d'étude (<50% sur MB).

Les valeurs obtenus pour les trois éléments fertilisants (NPK) sont proche de la réglementation de référence NFU 44-095 pour un usage du produit obtenu comme amendement organique - et sont relativement proche de celles du compostage de biodéchets (toutefois on observe des valeurs plus faibles pour le site de St Barthélémy certainement dû à son taux d'humidité élevé).

Malgré ces faibles teneurs, les produits obtenus peuvent être utilisés comme amendement d'un sol. Effectivement, ils permettent d'améliorer les propriétés physiques et chimiques du sol et par conséquent obtenir un meilleur rendement de culture.

Il est dommage de ne pas avoir pris en compte un suivi de l'évolution de la matière organique qui aurait permis d'obtenir des données sur le niveau de biodégradation et sur le caractère aérobie de la biodégradation.

3.2. Volet 2 : Lixiviats

Les mesures de ce volet (physico-chimique et microbiologique) doivent permettre d'évaluer la qualité environnementale et sanitaire des lixiviats. L'originalité du travail envisagé est de s'attacher à évaluer également les flux effectifs de polluants ramenés aux masses mises en jeu et au nombre d'utilisateurs des installations suivies.

a) Bilan des flux

Production de lixiviats

L'évolution des masses de lixiviats cumulées durant l'étude est présentée sur la figure 19. Ces courbes présentent également une tendance très linéaire ($R^2 = 0,98$).

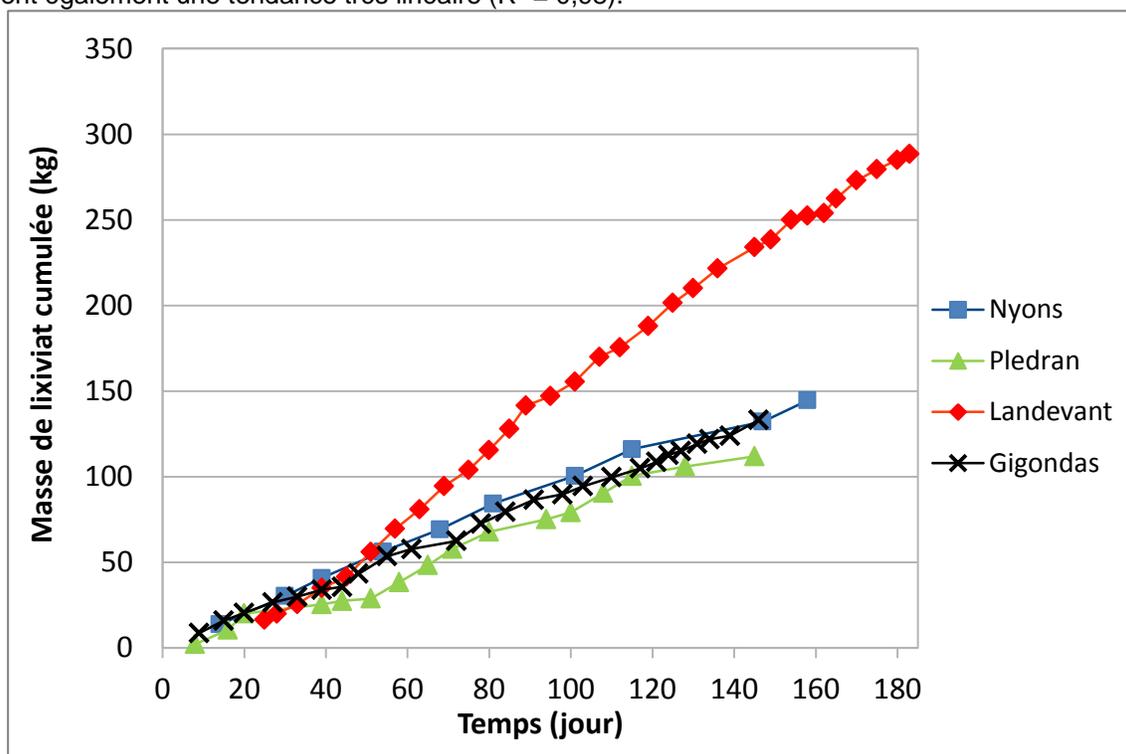


Figure 19 : Masse de lixiviats percolant cumulée pour les 4 familles durant la période de suivi

	Lixiviats produit (kg/j) [R^2]
Nyons	0,90 [0,99]
Plédran	0,85 [0,98]
Landévant	1,79 [0,99]
Gigondas	0,90 [0,99]

Tableau 9 : Masse de lixiviats percolant journalière moyenne (coefficient directeur des courbes de masse de lixiviats)

La masse moyenne de lixiviats produite quotidiennement varie suivant les familles entre 0,85 et 1,79 kg/j (ou L/j). On peut donc noter que, dans tous les cas, le volume de liquide vidangé est supérieur à la capacité de rétention du massif de compost. Cette capacité de rétention est par ailleurs constante quelle que soit l'épaisseur du compost. Il est donc probable que le compost est maintenu à sa *capacité au champ* durant toute la durée du remplissage.

Le travail à domicile des adultes à Landévant explique a priori la quantité de lixiviats supérieure par rapport aux autres familles. Les masses de lixiviats produites peuvent être comparées aux masses de compost et d'excrétas (Tableau 10). On peut constater qu'une fraction de la masse déposée dans les composteurs s'écoule sous forme de lixiviats (entre 23 et 47% de la masse totale de compost soit entre 27 et 66 % de la masse d'excrétas).

En ce qui concerne le cas spécifique de Landévant, la production importante de lixiviats par rapport à la masse totale d'excrétas peut vraisemblablement être attribuée à une quantité d'urine importante liée au travail à domicile (on notera 2 événements ponctuels d'inondation du compost dû au couvercle du compost envolé lors de 2 tempêtes). On peut noter que l'utilisation d'une masse importante de litière ne semble pas permettre d'améliorer notablement la rétention de liquide dans le compost. Afin de compléter cette analyse, des informations complémentaires concernant les masses d'excrétas liquide et solide ou des mesures de teneur en eau du compost serait nécessaire (cf prochain paragraphe).

	Lixiviats / Compost (%)	Lixiviats / Excrétas (%)
Nyons	35	40
Plédran	23	27
Landévant	37	66
Gigondas	47	56

Tableau 10 : Proportion de la masse totale vidangée percolant sous forme de lixiviats

Ces données concernant le bilan de masse de remplissage du composteur et de production de lixiviats mettent en évidence une production notable de lixiviats (entre 25 et 50% de la masse introduite dans les composteurs). Ces volumes de liquide peuvent être considérés comme excédentaires et pourraient a priori être diminués par une séparation partielle des urines (présence d'urinoirs pour hommes par exemple) sans nuire aux conditions de compostage. En effet, si une humidité importante est souhaitable pour assurer de bonnes conditions de compostage, le compost produit semble être à sa capacité au champ dans les conditions de l'étude.

Estimation de la fraction de liquide directement rejetée sous forme de lixiviats

La démarche retenue est basée sur une régression au sens des moindres carrés sur les données de masse vidangée et le décompte des passages aux toilettes sèches.

$$N_{U_i} moy_U + N_{F_i} moy_U + N_{F_i} moy_F = M_{V_i} \quad (1)$$

Où N_{U_i} correspond au nombre de passage au TS pour uriner (pour la vidange i)

N_{F_i} correspond au nombre de passage pour déféquer (pour la vidange i)

et M_{V_i} correspond à la masse vidangée dans le composteur (pour la vidange i)

moy_U et moy_F sont alors respectivement les masses d'urine et de fèces par passage au TS permettant d'approcher au mieux les masses vidangées tout au long de la période d'étude.

L'exploitation de ces données s'est avérée très délicate compte tenu de la difficulté d'assurer un suivi exhaustif des passages aux TS par les familles et de la variabilité des masses d'excrétas. A titre informatif, il est tout de même intéressant de présenter la série de donnée la plus satisfaisante (famille de Nyons).

Le calcul des moindres carrées conduit à une estimation de $moy_U = 187g$ et de $moy_F = 93g$. Ces estimations des masses d'excrétas moyennes par passage au TS (très proche de la littérature pour les urines, en moyenne 250 ml est mentionné) permettent de reconstruire la séquence des masses vidangées avec un accord qualitatif globalement satisfaisant avec les données mesurées (Figure 20). De plus la masse totale d'excrétas vidangée est également bien restituée par ce modèle avec 2,5 % de sous-estimation.

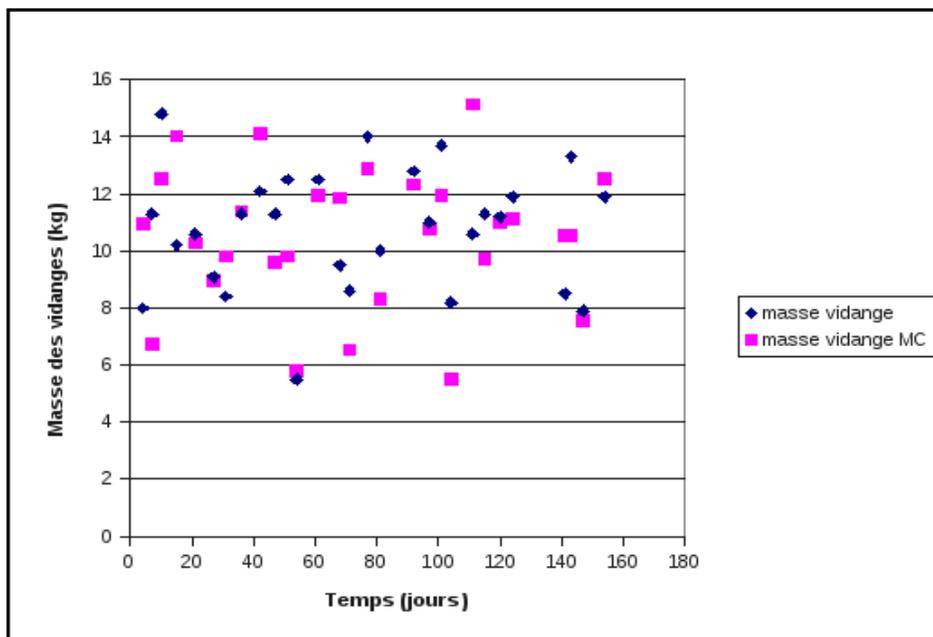


Figure 20 : Masse des vidanges d'excrétas (famille de Nyons) mesurées (symboles bleus) et recalculées en utilisant moy_U et moy_F

L'intérêt de ce résultat réside dans la possibilité d'estimer la proportion des urines vidangées percolant dans le composteur sous forme de lixiviat.

Sur les 154 jours ayant pu être pris en compte pour cette analyse, la masse d'urine total excrétée est ainsi estimée à 276,6 kg et peut être comparée à la masse de lixiviat de 138,6 kg récoltée à cette date. On peut donc estimer qu'environ 50 % des urines ne sont pas retenues dans le composteur et constituent donc la base des lixiviats.

Une collecte et un traitement séparés, au moins partiellement, des urines permettraient de limiter très fortement la production de lixiviat tout en préservant une humidification satisfaisante du compost.

Flux d'infiltration moyen sous le composteur

Un des paramètres de dimensionnement des systèmes d'assainissement non collectifs (ANC) concerne la conductivité hydraulique du sol qui doit être suffisamment élevée pour assurer l'infiltration du flux liquide. Dans le contexte des TS, une estimation similaire peut être réalisée en considérant que la surface d'infiltration correspond à la surface du composteur soit $S=1 \text{ m}^2$. Deux valeurs de flux ont été calculées :

- Le flux réparti considère l'apport de lixiviats vers le sol est uniformément réparti dans le temps.

$$\Phi_{réparti} = P / (\rho_w S T_1) \quad (2)$$

où P est la production journalière moyenne de lixiviats (tableau 9)

ρ_w est la masse volumique du lixiviat (= 1000 kg/m³)

S est la surface du composteur (= 1 m²)

et T₁ est la durée d'une journée exprimée en secondes (= 86400 s).

- Le flux rapide est estimé à partir des observations empiriques des participants à l'étude. Des écoulements de lixiviats très rapides ont été constatés durant l'heure suivant la vidange hebdomadaire dans le composteur.

$$\Phi_{rapide} = 7 P / (\rho_w S T_2) \quad (3)$$

Le facteur 7 ramène la production journalière moyenne sur une base hebdomadaire et T₂ est la durée d'une heure exprimée en secondes (= 3600s).

Ces deux valeurs de flux définissent une fourchette représentative des flux pouvant être émis vers le sol à partir des composteurs. Elles sont présentées dans le Tableau 11.

	Flux réparti (m/s)	Flux rapide (m/s)
Nyons	1,0*10 ⁻⁸	1,75*10 ⁻⁶
Plédran	9,8*10 ⁻⁹	1,65*10 ⁻⁶
Landévant	2,1*10 ⁻⁸	3,5*10 ⁻⁶
Gigondas	1,0*10 ⁻⁸	1,75*10 ⁻⁶

Tableau 11 : Estimation des flux d'infiltration de lixiviats dans le cas d'un composteur non-étanche

En première approximation, les valeurs de flux ainsi calculées peuvent être comparées à la conductivité hydraulique à saturation K_s des sols. Un sol dont la conductivité hydraulique à saturation est supérieure au flux émis par le composteur permettra l'infiltration du lixiviat produit. Les valeurs de flux réparti sont de l'ordre de 10⁻⁸ m/s correspondant à un sol très fin à forte teneur en argile selon la DTU_64-1. Dans le cas plus sécuritaire du flux rapide, les valeurs de l'ordre de 10⁻⁶ m/s sont caractéristiques de sols fin sablo/limoneux. A l'exception de sols très argileux, la très grande majorité des sols permet donc d'absorber le flux de lixiviat produit par les composteurs étudiés.

On notera notamment, la présence d'un sol très argileux sur le site de Kergrist Moelou (aire non-étanche) pour lequel aucun ruissellement de lixiviat n'a été observé (ni dans ni hors du composteur). Par contre, des galeries de vers de terre « intéressés » par le compost ont pu favoriser l'infiltration.

b) Bilan physico-chimique

Matière en suspension

La matière en suspension représente l'ensemble des particules solides présentes dans les lixiviats. Les mesures de concentrations massiques obtenues sur les prélèvements analysés en laboratoire sont présentées sur la Figure 21.

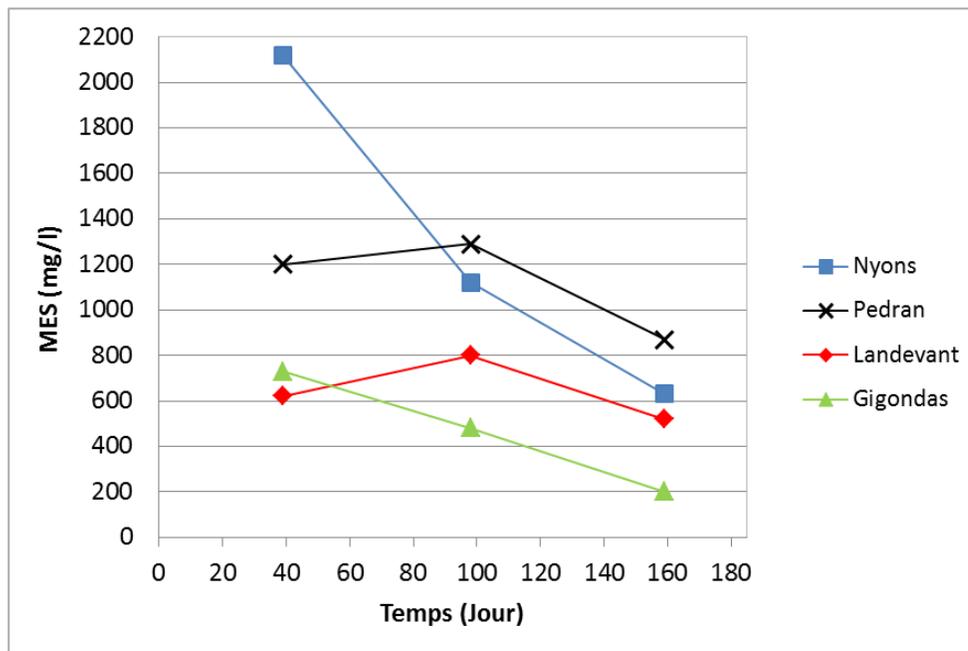


Figure 21 : Évolution de la concentration en matière en suspension

La quantité de matières en suspension présente globalement une tendance à la diminution au cours du temps. Malgré le peu de mesures disponibles, cet indicateur tendrait à mettre en évidence une augmentation du phénomène de filtration. L'épaisseur de compost traversée augmentant durant la phase de remplissage, la probabilité d'un piégeage des particules durant la percolation tend à augmenter.

Formes de la matière organique

La matière organique introduite dans le composteur est susceptible d'évoluer au cours du temps du fait de sa dégradation biochimique. La Demande Chimique en Oxygène (DCO) constitue un indicateur de la Matière Organique (MO) totale présente dans les échantillons de lixiviat. La Demande Biologique en Oxygène (DBO) est un indicateur de la MO biodégradable (par des micro-organismes en condition aérobie). Le ratio DBO/DCO constitue donc un indicateur de la nature de la MO : Des valeurs proches de 1 correspondent à de la MO peu dégradé (ou fraîche) alors que des valeurs faibles correspondent à de la MO réfractaire (ou tout du moins largement dégradée).

La figure 22 présente l'évolution de ces indicateurs au cours du temps à partir des mesures en laboratoire. On constate tout d'abord une tendance à la diminution de la DCO assez notable. La diminution de la DBO est plus sensible et très bien illustrée par la forte diminution du ratio DBO/DCO pour les 4 familles.

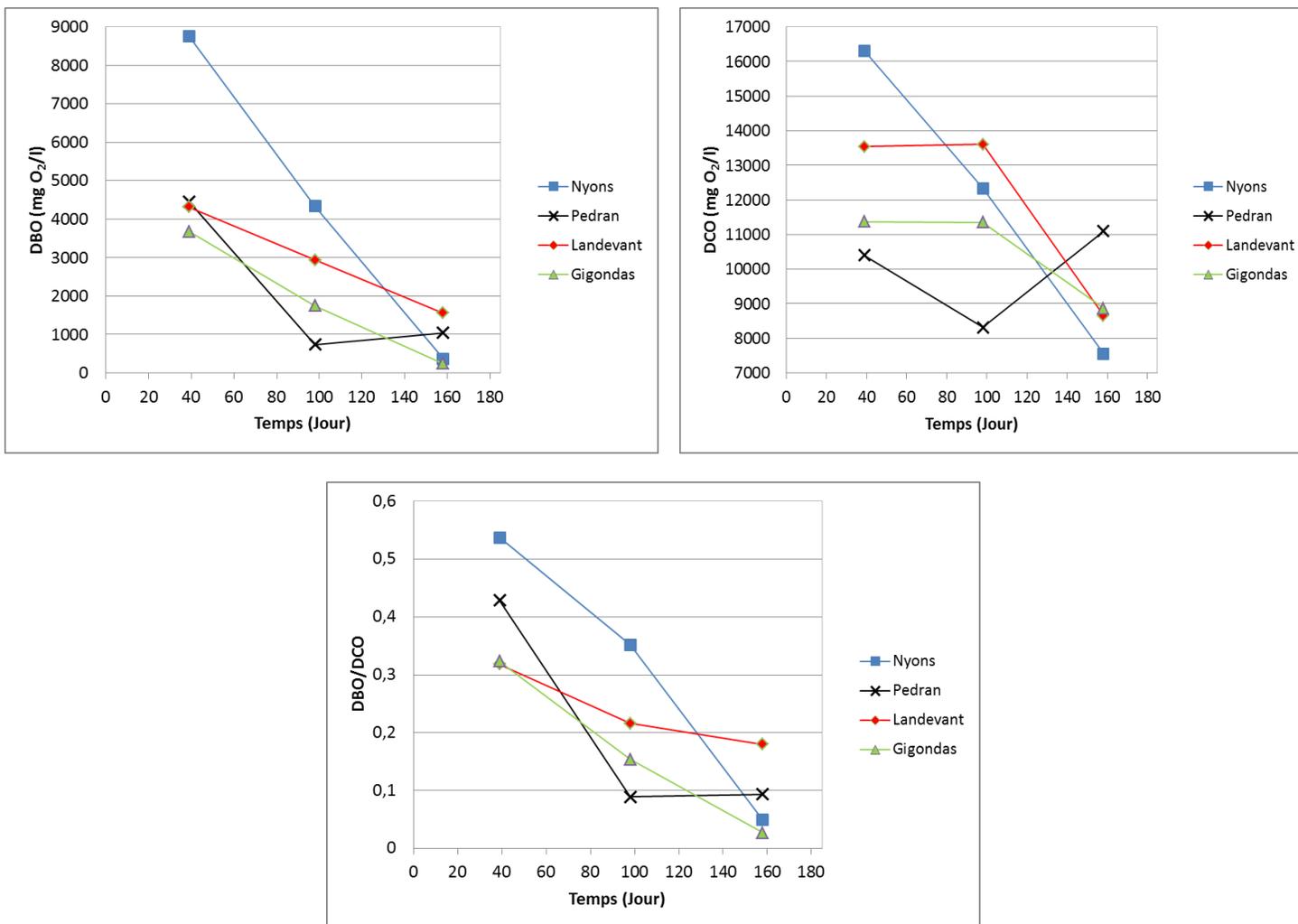


Figure 22 : Évolution de la DCO, de la DBO et du rapport DBO/DCO

Le temps de séjour dans le bac de collecte entre deux vidanges étant relativement constant, il est assez raisonnable de penser que les concentrations en DBO et DCO des liquides vidangés restent assez constante durant l'étude. Dans ces conditions, les diminutions observées pour la DBO, la DCO et le rapport DBO/DCO doivent être liées à des phénomènes intervenant dans le composteur. La répartition de la matière organique entre les phases dissoutes et particulaires n'a pas pu être déterminée dans cette étude. Une partie de la diminution observée peut être attribuée au phénomène de filtration qui semble entraîner une diminution de la MES (Figure 21).

Cependant, ce phénomène ne permet pas, à lui seul, d'expliquer que la diminution de la fraction biodégradable (DBO) est significativement plus importante que celles de la MES et de la DCO. La matière organique présente dans le lixiviat est donc notablement plus réfractaire à la fin du remplissage. Cette observation reflète une activité de biodégradation. Celle-ci peut avoir lieu durant la percolation du lixiviat qui est d'autant plus longue que le composteur est rempli. Une diminution de la DBO dans les lixiviats est également observée dans le cadre du compostage de déchets verts (Savage et Tyrrel, 2004).

À titre comparatif le flux DBO en contexte ANC doit être inférieur à 1,2 kg/j correspondant à 20 EH, pour les lixiviats produits le maximum observé est de 100g/J pour 20 EH.

Formes de l'azote

Les composés azotés constituent un enjeu majeur de l'ANC. En effet, l'urée est présente à très forte concentration dans les urines et le rejet d'azote dans l'environnement peut avoir une influence notable sur les écosystèmes. De plus, l'azote présente un cycle complexe dans l'environnement et ses différentes formes sont de très bons indicateurs des conditions physico-chimiques des milieux (Heinrich et Hergt 1993). L'azote sous forme nitrique (nitrate et nitrite) n'a été détecté dans aucun des échantillons analysés en laboratoire ou par les familles. Ceci constitue un indicateur a priori de conditions réductrices (anoxiques) dans les bacs de collecte mais également dans les composteurs. Ce dernier point est moins clairement démontré par ces mesures car le temps de percolation entre les lixiviats et le compost est relativement faible. Les nitrates éventuellement formés dans les zones bien aérées du compost peuvent ne pas entrer en contact avec les lixiviats (cas des écoulements préférentiels) ou être dégradés en azote gazeux par des bactéries dénitrifiantes.

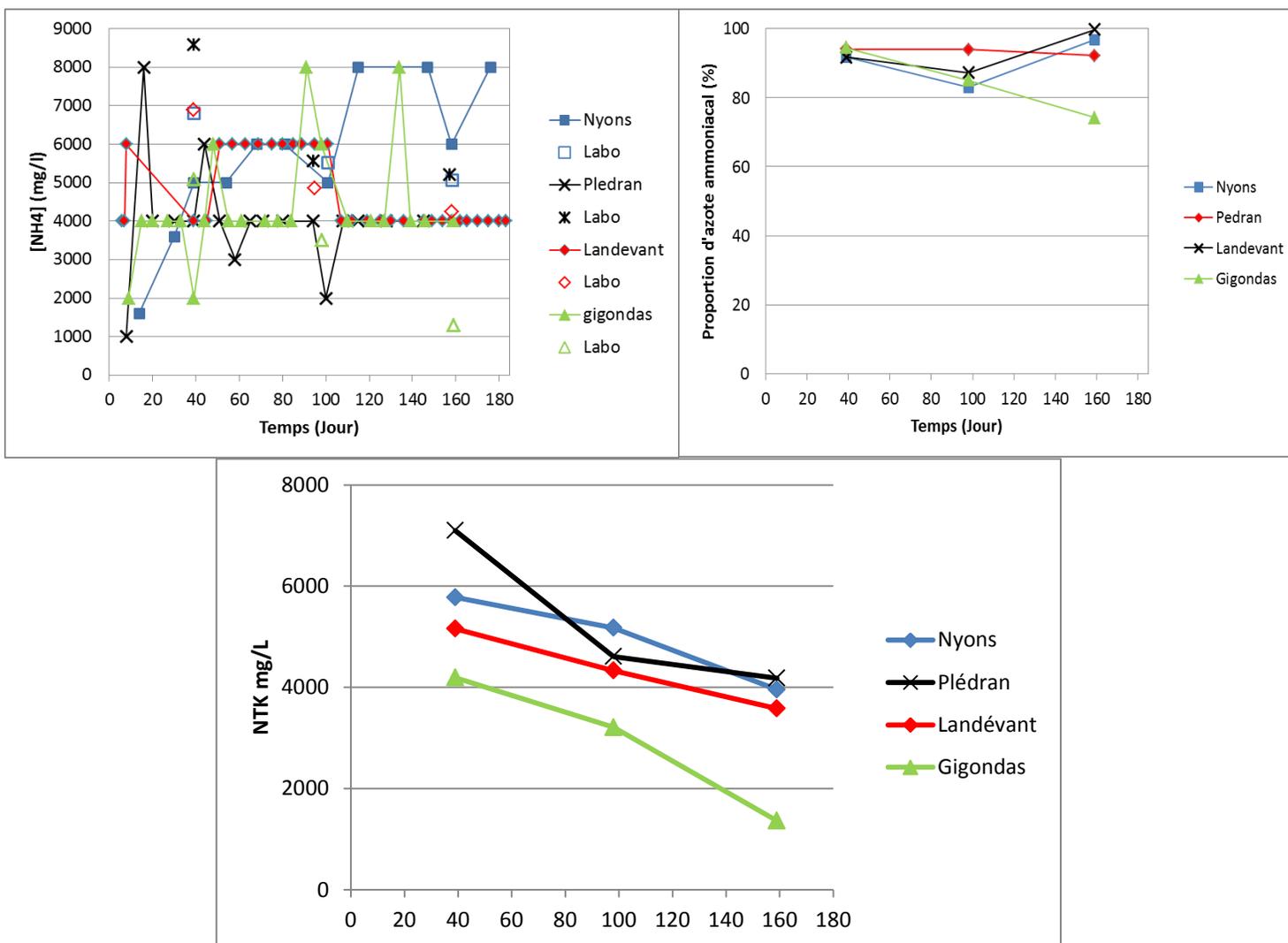


Figure 23 a. Évolution de la concentration en azote ammoniacal des lixiviats produits (mesures par bandelettes (symboles pleins) et en laboratoire (symboles creux))
 b. Proportion d'azote ammoniacal dans les lixiviats
 c. Évolution de l'Azote total

La figure 23a présente les résultats obtenus pour l'azote ammoniacal. Les mesures réalisées par les familles présentent une dispersion importante due à la nécessité d'utiliser un facteur de dilution important et à la faible précision des bandelettes réactives. Cependant, elles présentent un accord satisfaisant avec les mesures réalisées en laboratoire. Les valeurs obtenues sont plutôt stables entre 4 et 6 g/L. La comparaison des valeurs de concentration en azote ammoniacal avec l'azote total (azote Kjeldahl) montre que la dégradation de l'urée est très efficace (> 80%) (Fig.23b). Compte tenu du faible temps de contact du lixiviat avec le compost, cette transformation a vraisemblablement lieu dans le bac de collecte durant les quelques jours entre deux vidanges.

pH des lixiviats

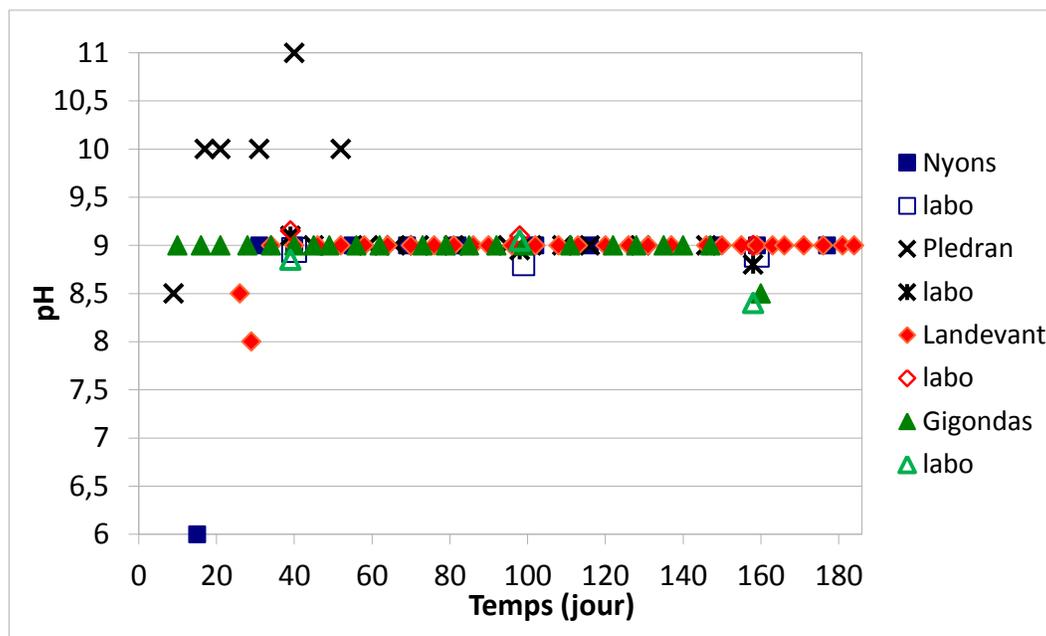


Figure 24 : Évolution du pH des lixiviats produits (mesures par bandelettes (symboles pleins) et en laboratoire (symboles creux))

À l'exception de quelques points de mesure, les valeurs de pH obtenues par les familles sont très stables et en accord avec les mesures de laboratoire (Fig. 24). La valeur de pH de 9 très basique est tout à fait cohérente avec les fortes concentrations en azote ammoniacal observées. La dégradation de l'urée en azote ammoniacal tend à créer des ions OH⁻ pour des pH inférieurs à 9,25 (pK = 9,25 pour la réaction acide-base ammonium/ammoniac). Les pH mesurés sont notablement inférieurs sur l'ensemble des mesures avec une légère tendance à la baisse sur les valeurs certifiées en laboratoire. Cet effet tampon, bien que faible, est a priori lié au contact avec la matière organique.

Comparaison des flux émis avec les normes et réglementations existantes

Les mesures effectuées dans ce « volet lixiviats » permettent de situer les flux émis vers l'environnement par rapport au cadre normatif présenté dans le tableau 1. Compte tenu du nombre assez restreint de mesures réalisées dans cette étude, l'approche retenue pour estimer les flux de MES, DCO, DBO et NTK est fondée sur les hypothèses les plus contraignantes suivantes :

- Les concentrations considérées sont les plus élevées mesurées sur l'ensemble des 12 analyses réalisées en laboratoire.
- La production de lixiviat la plus importante est prise en compte (1,79 L/j à Landévant dans le Tableau 9). L'utilisation de cette valeur moyenne est justifiée par la très bonne linéarité observée sur la production cumulée de lixiviats (Figure 19).
- Les flux ainsi calculés correspondent à 4 Équivalent Habitant (EH) correspondant à la famille de Landévant.

Le tableau 12 présente les valeurs de flux émis pour les différents indicateurs physico-chimique ainsi calculés et les valeurs normatives associées. Ces dernières correspondent aux seuils les plus restrictives des eaux usées traitées avant rejet dans la nature pour l'AC et l'ANC.

	Concentration maximale observée [g/L]	Débit moyen journalier de référence [L/j]	Nombre d'EH	Émissions dans les lixiviats [g/j/1EH]	Norme Eaux usées traitées (AC / ANC) [g/j/1EH]
MES	2,12	1,79	4	0,95	4,5
DCO	16,3	1,79	4	7,29	18,75
DBO	8,76	1,79	4	3,92	5,25
NTK	7,1	1,79	4	3,18	2,25

Tableau 12 : Masse de lixiviats en percolation journalière moyenne (coefficient directeur des courbes de masse de lixiviats) comparée aux normes de rejet dans le milieu naturel.

On constate que les seuils fixés pour les émissions de matière en suspension et pour les formes du carbone (DCO et DBO) ne sont pas atteints malgré les hypothèses très pessimistes retenues. Le stockage de la très grande majorité de la matière solide dans le composteur permet donc de réduire suffisamment le flux de matière solide (et en particulier organique) rejeté dans l'environnement. La norme de rejet associée à l'azote total (NTK en contexte d'AC avec rejet en milieu superficiel) est sensiblement dépassée dans ces conditions. Il faut tout de même noter que cette norme de rejet serait respectée pour la très grande majorité des combinaisons de débits journaliers et de valeurs de concentration en azote total mesurées. De plus, la concentration maximale observée est celle correspondant à la première campagne de mesure quand le niveau du compost est au plus bas.

On observe donc que le composteur assainit les lixiviats produits sur les paramètres physico-chimiques.

c) Bilan microbiologique

Il semble délicat de tirer une tendance des mesures microbiologiques. Les apports ponctuels de micro-organismes semblent pouvoir se retrouver dans les lixiviats. Ce comportement pourrait être lié à l'existence d'écoulements préférentiels qui sont pressentis du fait de l'écoulement rapide des lixiviats observé par les familles.

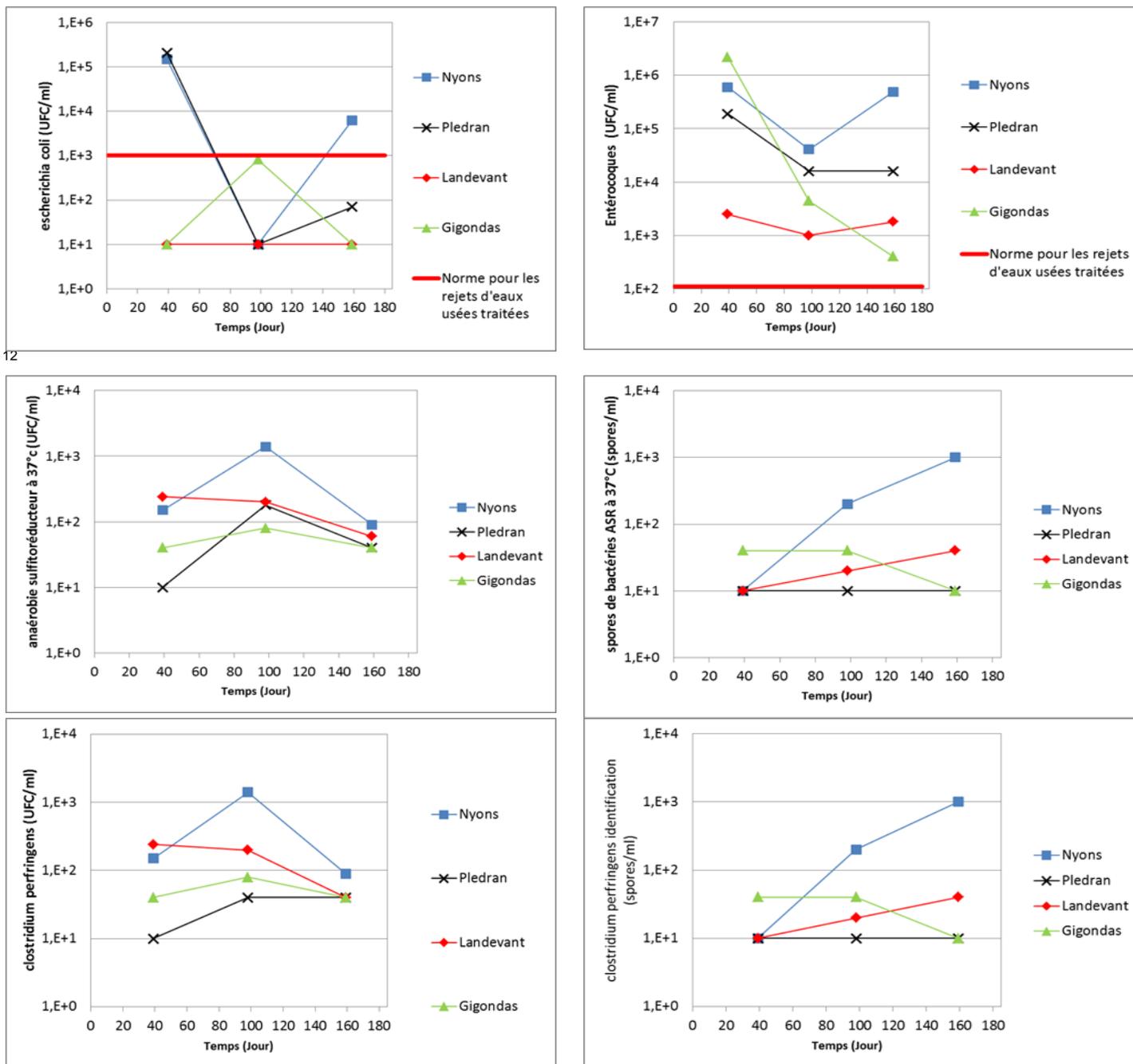


Figure 25 : Évolution des propriétés microbiologiques des lixiviats

Compte tenu de la percolation très directe du lixiviat, ces mesures microbiologiques ne sont pas sensibles à un éventuel effet du compostage. Il n'y a donc pas d'effet intégrateur du compost sur la microbiologie des lixiviats. La figure 25 montre que les seuils des normes relatives à l'assainissement collectif pour les paramètres microbiologiques ne sont pas atteints. Bien que les niveaux d'*E. coli* mesurés reste dans l'ordre de grandeur de la norme.

Ainsi, il n'est pas possible de conclure sur un impact spécifique sur les indicateurs de contamination fécale suivis contenus dans les lixiviats. Il convient donc de limiter les actions de manutention des lixiviats afin de limiter les risques sanitaires.

¹² La norme de référence est celle des rejets des eaux usées traitées (cf. **Annexe 2**)

4. Recommandations

Sur la base des 2 volets de l'étude, plusieurs recommandations ont été établies par le comité de pilotage. Ces recommandations sont classées par thème et sont vulgarisées dans une plaquette d'information (cf. **Annexe 7**) à destination du grand public, des SPANC et des professionnels de l'assainissement. Voici la synthèse de ces recommandations.

Conception

- En moyenne une famille composée de quatre personnes vidange par jour 2.6 kg d'excrétas et de matières recouvrantes / carbonées. Nous estimons que pour un apport d'un an, le volume minimum d'un bac de traitement est alors de 1 m³ (pour 4 personnes).
- Il est préconisé d'installer 3 bacs de traitement de 1.5 m³ (un bac d'alimentation – un bac de maturation – un bac de stockage de la litière).
- Les bacs de traitement doivent être placés dans un espace ombragé, facilement accessible pour les différentes actions de manutention, protégés des intempéries, des ruissellements et des animaux nuisibles. Ils doivent également être étanches au niveau de la toiture et des parois pour éviter les phénomènes d'assèchements ou de lessivage.

Gestion des sous-produits

Solides

- Le processus de traitement des excréta à l'échelle familiale ne permet pas d'atteindre de fortes températures (>50°C). Afin de compenser ces températures moyennes, il est important de :
 - (i). brasser régulièrement le mélange de sous-produit afin d'éviter d'être en anaérobiose en bas du composteur et d'éviter l'assèchement en surface,
 - (ii). de vérifier l'humidité des sous-produits.
- Afin de maintenir une aération passive efficace et permanente, il est préférable d'utiliser comme litière un mélange (sciure pour l'absorption et copeaux / bois déchiqueté pour l'aération) puis d'alterner paille ou support structurant grossier (type broyat de branche, écorces, feuilles coriaces,...) dans le bac de collecte en extérieur. L'emploi d'un support structurant dans le composteur est nécessaire avec une application en mille-feuille (ou lasagne).
- Le sous-produit obtenu au bout d'un an de traitement n'est pas entièrement hygiénisé, il convient donc de respecter certaines précautions sanitaires pour toutes manipulations (voir ce chapitre ci-dessous).

Lixiviats

- En absence de zones à enjeux sanitaires et/ou environnementaux, il est recommandé de favoriser l'infiltration des lixiviats. En effet les flux sont très faibles et peuvent être infiltrés par une grande majorité des sols (pour tous KS (coefficient de perméabilité) supérieur à 50 mm/h - sol très argileux exclus). Tout comme pour l'épandage des eaux usées traitées, l'infiltration des lixiviats doit respecter la réglementation de l'ANC.

- En présence de zones à enjeux sanitaires et/ou environnementaux ou de sols imperméables, il est recommandé d'implanter une aire de traitement étanche et de:
 - (i). acheminer avec une conduite étanche les lixiviats de l'aire de traitement vers le réseau d'assainissement des eaux usées ménagères en respectant les règles de l'art de l'assainissement,
 - (ii). pour recueillir moins de lixiviats (les lixiviats sont composés à 50% des urines produites), possibilité d'implanter un urinoir séparé pour les hommes,
 - (iii). possibilité d'arroser le compost avec les lixiviats (riches en Azote), afin de rectifier l'humidité et le rapport C/N.

Précautions sanitaires

- Lors de la vidange, l'opérateur se doit de : porter des gants, des chaussures fermées et se laver les mains après chaque vidange, afin d'éviter tous risques de contamination. Il est préférable que cette tâche soit réalisée par un adulte averti.
- Les outils utilisés, le sont uniquement pour les excréta et doivent être nettoyés à l'eau savonnée après chaque usage.

Valorisation

- La valorisation doit être réalisée après au minimum 1 an de traitement en bac.
- Avant d'épandre ses sous-produits, il est nécessaire de le tamiser (maille d'environ 1 à 2 cm), le refus de tamis doit retourner dans le composteur.
- Intégrer les sous-produits traités dans les 15 premiers cm du sol, en automne, afin de favoriser leur intégration au sol. Ceci permettra également de finaliser le processus de traitement.

Conclusion

La mise en place d'une étude in situ auprès de familles assistées par des structures de suivies compétentes s'est bien déroulée. Il est important de souligner la nécessité d'une structure de coordination de l'étude qui assure le suivi et l'accompagnement des familles et structures de terrain en lien avec les partenaires techniques pour éviter les dysfonctionnements.

Dans la même dynamique, l'organisation d'une réunion intermédiaire du comité de pilotage aurait été nécessaire afin de permettre une/des réorientation(s). Notamment, des éléments auraient pu être optimisés sur le suivi de paramètres redondants (*Cl. perfringens* et ASR 37), l'absence de suivi de certains autres paramètres qui auraient pu s'avérer pertinents (situation agronomique en début de processus, etc.) ou le nombre d'installations suivies permettant une analyse statistique.

Concernant les lixiviats, il n'a pas été observé de ruissellement de lixiviats hors composteurs sur les sites non étanches (y compris sur les sites dont le sol est qualifié d'argileux). On estime à 1,3 L/jour de lixiviats produit par foyer soit environ 50% des urines qui ne sont pas retenues dans le bac. Il semblerait pertinent pour diminuer ce flux de séparer des excréta une partie de la collecte des urines, afin de permettre de limiter la production de lixiviat tout en préservant une humidification satisfaisante des produits dans le bac de collecte. Malgré cette situation contraignante, les flux de lixiviats produits s'infiltrent dans une très grande majorité des sols, à l'exception de sols excessivement argileux.

Pour l'ensemble des critères physico-chimiques, les valeurs des concentrations des paramètres suivis sont fortes par rapport aux normes de rejets mais les flux associés sont faibles. Néanmoins, on observe une réduction généralisée de ces paramètres au cours de 6 mois de remplissage du bac. Les calculs de DBO/DCO et de pH montrent un amorçage de la biodégradation dans le bac de collecte (bidon de lixiviats). Cependant les données recueillies ne permettent pas de déterminer si cette dégradation est aérobie ou anaérobie.

D'un point de vue microbiologique, il n'est pas possible de conclure sur un impact spécifique du bac de collecte sur les indicateurs de contamination fécale suivis dans les lixiviats. Compte tenu de la percolation très directe du lixiviat, ces mesures microbiologiques ne sont pas sensibles à un éventuel effet du compostage. Les seuils des normes relatives à l'assainissement collectif pour les paramètres microbiologiques ne sont pas atteints. Il convient donc de limiter les actions de manutention des lixiviats afin de limiter les risques sanitaires.

Le processus de traitement des sous-produits solides qui est d'une durée de 12 mois, ne provoque pas de montée en température significative. Le faible volume de matières fécales contenues dans les composteurs est probablement l'un des facteurs responsables de cette situation. À 6 mois de traitement, les pH sont tous trop acides, il ne s'agit pas d'un processus de traitement aérobie classique par comparaison au compostage de biodéchets. Le 'design' des composteurs auto-construits permet de maintenir une bonne humidité dans la matrice mais diminue son aération. Il est difficile de conclure quant à l'impact du mode de gestion des composts. Sur la base de ces observations, il n'est pas possible de confirmer que le processus en cours est du compostage caractérisé. Il convient donc de parler d'un processus de traitement des produits de toilettes sèches à litière par stockage.

Néanmoins, un abattement de certains indicateurs de niveau de traitement est observé, grâce à d'autres facteurs de destruction. En se référant à la NFU 44 095 – concernant le compostage caractérisé des amendements organiques – la présence en *E. coli* et en *Entérocoques* est inférieure à la norme après 6 mois de maturation et des abattements, du même ordre de grandeur que ceux en sortie de dispositif en ANC, sont constatés. Concernant les indicateurs microbiologiques plus résistants, *Cl. perfringens* et ASR 37, il n'est pas possible de conclure à une tendance significative et il convient donc d'être prudent quant à la présence d'éventuels virus ou parasites après un an de processus.

D'un point de vue agronomique, les résultats montrent que les produits obtenus après 1 an de traitement sont en adéquation avec la norme en vigueur (NFU 44-095) concernant les amendements de sols. Malheureusement, l'interprétation des résultats finaux n'est pas aisée du fait de l'absence des données de départ (sur les matières brutes).

La présente étude apporte des réponses à certaines questions sur la gestion des sous-produits de Toilette sèche familiale à litière. Cependant, certains éléments doivent être approfondis sur une durée de traitement supérieure à 1 an, comme l'évolution des virus et parasites ou l'évolution de la valeur agronomique des produits dès leur production.

Glossaire

Aérobic : Se dit d'un processus qui se réalise en présence d'oxygène.

Aire de compostage : un espace aménagé sur une parcelle pour le collecte des sous-produits de toilette sèche dans l'objectif d'assainir et d'en produire un compost.

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 aérobic 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.

Compostage à froid : compostage mésophile, c'est la phase initiale de compostage. Les matières premières sont envahies par les micro-organismes mésophiles (bactéries et champignons essentiellement) ; leur activité engendre une montée en température (de 10-15°C à 30-40°C) un dégagement important de CO₂ ainsi qu'une acidification. La dégradation de la cellulose durant cette phase est responsable de plus de 75% de la perte de poids sec.

Excrétas : ils correspondent à l'urine et aux fèces produits par le corps humain. Ils sont collectés dans le récipient de collecte étanche de la toilette et mélangés à une matière carbonée (voir ci-dessous).

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 : l'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 tant au niveau de la toilette que du composteur comme matière couvrante ajoutée après défécation / vidange, riche en carbone et de composition variée : copeaux, sciure, broyat de branchage, cartons déchiquetés, feuilles mortes, etc.

Lixiviat : est le liquide récupéré à la base du composteur après percolation à travers le compost. Une attention particulière sera portée à sa composition chimique (azote, matière organique,...), à sa teneur matière solide en suspension (MES) et à la présence de certains marqueurs microbiologiques.

Matières fécales (ou fèces) : Elles sont les résidus de notre digestion, composées à plus de 75% d'eau et 90% (en poids sec) de matières organiques, principalement du carbone. Cette fraction des excréta 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, etc.), généralement installé sous le siège d'une toilette sèche, assurant la collecte des matières (fèces, matières sèches) et parfois des urines.

Toilettes Sèches : toilettes évacuant les fèces et urines (ensemble ou séparément) sans utilisation de chasse d'eau. Il existe deux grands groupes de TS :

- unitaire - le sous-produit obtenu est les excréta
- et à séparation des urines - deux sous-produits sont collectés : les urines d'un côté et les fèces de l'autre.

Urines : Elles sont composées à plus de 95% en eau. La matière organique représente 77% (en poids sec) de ce sous-produit liquide, dont 17% d'Azote (sous forme d'urée) et 14% de Carbone.

Vidange : Ce terme est utilisé pour décrire la matière (solide et liquide) déversée du récipient étanche (seau) de collecte vers le composteur. La vidange est constituée des excréta mélangés à la litière (composée de matière carbonée) et au papier hygiénique (dont la masse n'a pas été prise en compte dans l'étude).

Zone à enjeu environnemental : correspondent aux zones identifiées par le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) ou le Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) démontrant une contamination des masses d'eau par ANC sur les têtes de bassin et les masses d'eau.

Zone à enjeu sanitaire : Cette zone correspond soit :

- à un périmètre de protection d'un captage d'eau utilisé pour la consommation humaine (mais seulement si l'arrêté préfectoral de DUP prévoit des prescriptions spécifiques pour l'ANC),
- à une zone à proximité d'une baignade ou lieu d'activités nautiques (mais seulement si le profil de baignade indique que les rejets liés à l'ANC peuvent avoir un impact sur la qualité de l'eau et la santé des baigneurs),
- à une zone sensible spécifiquement désignée par arrêté du maire ou du préfet (exemple : site de conchyliculture¹³, pisciculture, de pêche à pied, ou de cressiculture).

¹³ élevage/production de coquillage.

Références bibliographiques

- Académie nationale de Pharmacie (2008) – Médicaments et environnement
http://www.acadpharm.org/dos_public/1_Rapport_Med_Env_version_JMH_def_JPC.pdf (consulté en Juillet 2014)
- ADEME (1999) -Les agents biologiques d'intérêt sanitaire des boues d'épuration urbaines
- ADEME-INERIS-SYPREA-FP2E (2007) – Base scientifique de l'évaluation des risques sanitaires relatifs aux agents pathogènes
- BURKHARDT D.** (2006) – Étude des systèmes décentralisés d'assainissement, critères caractérisant les toilettes écologiques
http://engees.unistra.fr/site/fileadmin/user_upload/pdf/gsp/Ecosan_UMR_GSP.pdf (consulté en Juillet 2014)
- CORVAISIER N.** (2000) – Les substances médicamenteuses rejetées dans les eaux usées urbaines, 13 p. – Synthèse Bibliographiques
- DUVAL J.** (1992) – L'élimination des phytopathogènes par le compostage
<http://eap.mcgill.ca/agrobio/ab310-03.htm> (consulté en Juillet 2014)
- Direction Générale de la santé (2004) – Règlement Sanitaire départementale type
<http://pro.aldes.fr/upload/documents/Reglement%20departemntal%20type.pdf> (consulté en Juillet 2014)
- Eawag News 63f (Mars 2007) « Mix ou NoMix? La séparation des urines sous tous les angles »
http://www.eawag.ch/medien/publ/eanews/archiv/news_63/en63f.pdf (consulté en Juillet 2014)
- ECOSANRES (2008) – Closing the Loop on Phosphorus
http://www.ecosanres.org/pdf_files/ESR-factsheet-04.pdf (consulté en Juillet 2014)
- ESREY S. et al.** (1998) – Assainissement écologique
http://www.ecosanres.org/pdf_files/Assainissement_Ecologique.pdf (consulté en Juillet 2014)
- ESREY S. et al.** (2001) – Closing the loop, Ecological sanitation for food security
http://www.ecosanres.org/pdf_files/closing-the-loop.pdf (consulté en Juillet 2014)
- FAURE R.** (?) – Extraction et analyse de produits pharmaceutiques dans les eaux environnementales
- FERAUDET A.** (2009) – Biotechnologies et Eau : Détection des polluants émergents dans l'eau : état des lieux
- GEURTS, M.**(2005) – Introduction to the main characteristics of human excreta and grey water
<http://www.ecosan.nl/page/732> (consulté en Juillet 2014)
- GUARDABASSI L. et DALSGAARD A.** (2009) – Occurrence and survival of viruses in composted human faeces – Sustainable Urban Renewal and Wastewater Treatment, n° 32, 59 pages
- HEINRICH, D. et HERGT, M.** (1993) – Atlas de l'écologie – LGF – Livre de Poche, 286 pages
- HÖGLUND C.** (2001) – Doctoral thesis: Evaluation of microbial health risks associated with the reuse of source-separated human urine – Department of Biotechnology, Applied Microbiology and Department of Water and Environmental Microbiology, 87 pages
<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd68/HoglundCaroline.pdf> (consulté en Juillet 2014)
- JAMIESON R.C. et al.** (2002) – Movement and persistence of fecal bacteria in agricultural soils and subsurface drainage water

JOHANSSON M. (2000) – Urine separation, closing the nutrient cycle – VERNA Ecology, 44 pages

JÖNSSON H., RICHERT A. et Salomon E. (2004) – Directives pour une Utilisation des Urines et des Fèces dans la Production Agricole
http://www.ecosanres.org/pdf_files/ESR-2004-2-Directives-Agronomique.pdf (consulté en Juillet 2014)

JÖNSSON H. et al. (2005) – Composition of urine, faeces, greywater and biowaste for utilisation in the URWARE model

LE PEN C., LEMASSON H., ROULLIERE LE LIDEC C. (2007) – La consommation médicamenteuse dans 5 pays européens : une réévaluation

Journal Officiel de 25 Avril 2012/ texte n°3 – Arrêté concernant l'Assainissement Non Collectif
http://www.legifrance.gouv.fr/jopdf/common/jo_pdf.jsp?numJO=0&dateJO=20120425&numTexte=3&pageDebut=07348&pageFin=07349 (consulté en Juillet 2014)

MIQUEL M.G. (2003) – Rapport sur « la qualité de l'eau et de l'assainissement en France »
<http://www.senat.fr/rap/l02-215-1/l02-215-11.pdf> (consulté en Juillet 2014)

NIWAGABA C. B. (2009) – Doctoral thesis: Treatment technologies for Human faeces and urine – Department of Energy and Technology – 91 pages

OMS (2006) – Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater, Volume 4 – Excreta and greywater use in agriculture
http://whqlibdoc.who.int/publications/2006/9241546859_eng.pdf (consulté en Juillet 2014)

Réseau de l'Assainissement Ecologique (2010) – Guide des bonnes pratiques pour le compostage des sous-produits de toilettes sèches
<http://www.rae-intestinale.org/media/gbp.pdf> (consulté en Juillet 2014)

RICHERT A. et al. (2010) – Practical guidance on the use of urine in crop production
http://www.ecosanres.org/pdf_files/ESR2010-1-PracticalGuidanceOnTheUseOfUrineInCropProduction.pdf
(consulté en Juillet 2014)

Savage, A.J. and Tyrrel, S.F. (2004) – Compost liquor bioremediation using waste materials as bio filtration media, Bio resource Technology, 96 (5), pp 557-564.

SANDRIN E. et BRUGERE H. (2007) – Maitrise du risque sanitaire dans une unité de compostage de sous-produits animaux

SCHONINING C. et T.A. STENSTROM (2004) – Recommandations pour un usage sans risques de l'urine et des matières fécales dans les systèmes d'assainissement écologique
http://www.ecosanres.org/pdf_files/ESR-2004-1-Directives-Utilisation-sans-risque.pdf (consulté en Juillet 2014)

Toilettes Du Monde (2009) – Guide « Des toilettes sèches... à la maison »

Toilettes Du Monde (2010) – Les toilettes sèches familiales, état de l'art, état des lieux dans plusieurs pays et propositions pour un accompagnement en France

ZNAÏDI A. (2002) – thèse de master : Etude et évaluation du compostage de différents types de matières organiques et des effets des jus de composts biologiques sur les maladies des plantes, 104 pages

Annexes

Annexe 1 : Classification des différents types de toilettes sèches du RAE

Annexe 2 : Étude bibliographique comparative des paramètres de l'assainissement

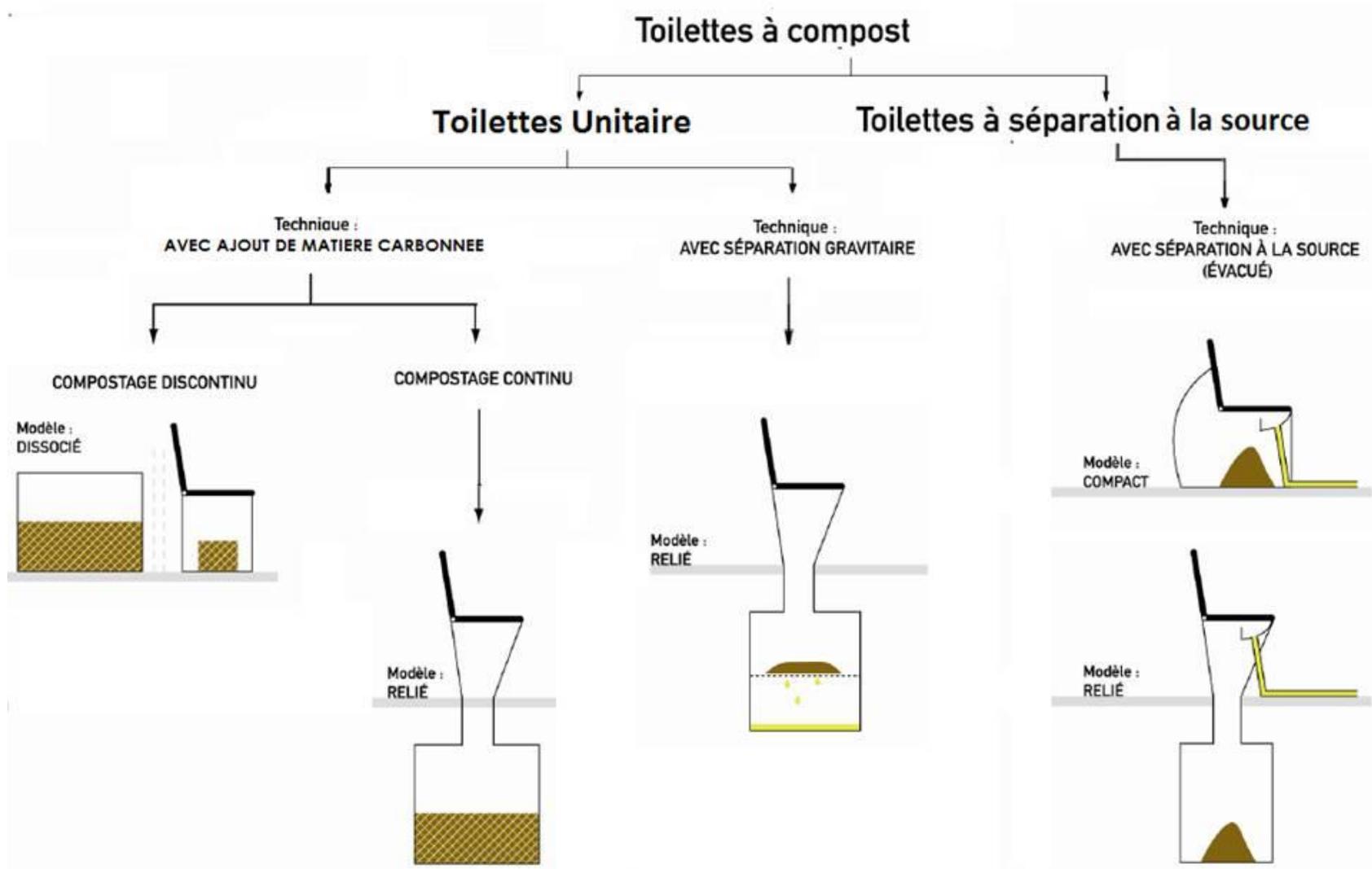
Annexe 3 : Guide de présentation de l'étude aux familles

Annexe 4 : Guide de recommandations pour l'étude aux structures chargées de suivi

Annexe 5 : Fiche de suivi des intrants pour les familles de l'étude

Annexe 6 : Fiche de suivi des températures relevées manuellement pour les familles de l'étude

Annexe 1 : Classification des différents types de toilettes sèches du RAE



Annexe 2 : Étude bibliographique comparative des paramètres de l'assainissement

Étude bibliographique comparative

Lexique	61
Index des tableaux	61
Introduction	62
I. L'assainissement collectif	63
II. L'assainissement non collectif	64
III. La gestion des boues.....	65
1. Matières d'Intérêt Agronomique issues du traitement des Eaux (MIATE).....	65
2. Le Compostage des boues.....	66
3. Le Stockage dans une Installation de Stockage des Déchets Non Dangereux (ISDND)	68
IV. Le compostage 69	
1. Compostage industriel.....	69
2. Compostage domestique et collectif.....	69
V. Analogies avec le contexte des Toilettes sèches	70
1. Réglementation.....	70
2. Hygiénisation	71
VI. Synthèse analogique	73
Références bibliographiques.....	74
Glossaire.....	77

Lexique

ABS : absent
AC : assainissement collectif
ANC : assainissement non collectif
CD : compostage domestique
CET : centre d'enfouissement technique
CTO : composés organiques traces
DCE : directive cadre européenne
EH : équivalent habitant (unité de dimensionnement prenant en compte la pollution journalière engendrée par un individu ; correspond au nombre de pièces principales pour une habitation domestique dans la réglementation)
ERU : eaux usées résiduaires ou eaux résiduaires urbaines
ETM : éléments traces métalliques
EU : eaux usées
%H : taux d'humidité
HAP : hydrocarbure aromatique polycyclique
INSA : Institut National des Sciences Appliquées
IRSTEA : Institut de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture
MB : matière brute
MIATE : matières d'intérêts agricoles issus du traitement des eaux
MM : matière minérale
MS : matière sèche
NQE : normes de qualité environnementales
PCB : polychlorobiphényle
STEP : station d'épuration
T° : température
TS : toilette sèche

Index des tableaux

Tableau 1 : Valeurs limites concernant l'AC pour les paramètres physico-chimiques, microbiologiques et agronomiques	63
Tableau 2 : Valeurs limites concernant l'ANC pour les paramètres physico-chimiques.....	65
Tableau 3 : Seuils explicités dans le règlement d'épandage de 1998 pour les MIATE brutes (pour épandage)	66
Tableau 4 : Valeurs limites concernant le compostage des boues et pour les engrais commercialisés pour les paramètres agronomiques et microbiologiques	67
Tableau 5 : Valeurs limites concernant les ISDND pour les paramètres agronomiques et microbiologiques.	68
Tableau 6 : Valeurs limites concernant les lixiviats issus des composts industriels pour les paramètres physico-chimiques et agronomiques.....	69
Tableau 7 : Tableau d'analogie entre le compostage domestique et le compostage de toilettes sèches.	72
Tableau 8 : Tableau des valeurs limites références.....	73

Introduction

Cette note de synthèse est réalisée dans le cadre de l'étude de la « Gestion des sous-produits des Toilettes Sèches familiales à litière », qui comprend un volet lixiviat et un volet compost.

Son objectif est de disposer d'une vision claire sur les aspects réglementaires relatifs aux différentes filières de traitement des sous-produits de l'assainissement et de disposer de valeurs comparatives pour les analyses effectuées sur les deux volets de l'étude.

La recherche bibliographique a donc été menée, dans un premier temps, sur les textes législatifs existants en France puis dans d'autres pays lorsque des données absentes en France sont vacantes, tels que la Suisse ou le Canada. Elle inclut également l'exploitation des résultats de certaines thèses anglophones et de récentes études réalisées par l'IRSTEA de Rennes et l'INSA de Lyon.

Il est donc proposé une analyse comparative des paramètres habituellement suivis pour la majorité des filières de traitement des sous-produits solides de l'assainissement. Spécifiquement, pour l'assainissement collectif, l'assainissement non collectif, la gestion des boues, le compostage (domestique et industriel) et le l'entreposage dans des Installations de Stockage des Déchets Non Dangereux ; il a été étudié la réglementation en vigueur, les recommandations associées et les seuils des paramètres suivis.

Enfin, une étude comparative entre les sous-produits liquides (lixiviat) et solides de compostage domestique et de toilettes sèche est proposée.

Il probable que les résultats obtenus seront à la fois en adéquation avec les thèses étudiées et proches des normes en vigueur sur les paramètres physico-chimiques, microbiologiques et agronomiques. L'idée est notamment d'identifier le cadre réglementaire le plus proche de nos sous-produits.

Vous trouverez dans la présente note de synthèse des références à la réglementation et aux recommandations associées pour l'assainissement collectif, l'assainissement non collectif, la gestion des boues et le compostage. Dans un second temps, une étude analogique entre les sous-produits de compostage domestique et de toilette sèche sera proposée.

I. L'assainissement collectif

Les textes réglementaires concernant les différentes filières de l'assainissement ont peu évolué ces dernières années.

En effet, concernant l'assainissement collectif (AC), la réglementation française s'est développée à partir de Mai 1991 (Directive Européenne) [1] où ont été identifiées les zones sensibles ainsi que les zones vulnérables. Il a également été fixé des obligations de raccordement des particuliers, pour la collecte et le traitement des Eaux Usées Résiduaires (ERU¹⁴) pour les agglomérations urbaines. Cette exigence de raccordement aux égouts est reprise dans la Loi sur l'eau de 1992 [2] ainsi que dans certains articles du Code de la Santé Publique datant de 2007¹⁵.

Les divers textes législatifs concernant les ouvrages d'assainissement décrivent des prescriptions techniques, des plans d'action de mise en conformité (des STEP non réglementaires) et des Normes de Qualité Environnementale (NQE), afin d'évaluer les impacts sur l'état chimique des eaux de surface (après rejets d'ERU).

Le dernier arrêté à ce jour concerne les eaux usées date du mois d'Août 2010 [3]. Il cadre l'utilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation (EU de STEP strictement contrôlées et conformes aux prescriptions et EU issues d'installations d'assainissement non collectif de charge forte (>20 EH) c'est à dire >1.2 kg DBO₅/j)¹⁶.

Quelques recommandations sont préconisées (relevant du bon sens des citoyens) tel que l'interdiction de connecter les eaux pluviales aux réseaux publics et aux fosses septiques, ou de déverser des produits toxiques tels que les huiles de vidange, de friture, de l'acide, produits chimiques (médicaments, herbicide,...), peintures, solvants, de déchets solides et lingettes (y compris après broyage), des produits radioactifs, les eaux de vidange de piscine, ...¹⁷

Pour l'ensemble des filières concernant l'assainissement collectif, les valeurs limites de rejets pour les effluents liquides sont explicitées dans le tableau ci-dessous :

	paramètres physico-chimiques			paramètres microbiologiques			paramètres agronomiques	
	MES (mg/L)	DCO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	ASR sporulées 37	<i>E. coli</i> (UFC/100 mL)	<i>Entérocoques</i> (UFC/100mL)	N _{Khejdat} (mg/L)	P _{tot} (mg/L)
Eaux usées traitées (rejetées dans le milieu naturel) (journalier)¹⁸	<35	<125	<25	/	10 ¹ -10 ⁵	10 ⁻¹ – 10 ³	15	2
Eaux usées traitées (pour irrigation)¹⁹	<15	<60	/	10 ³ / 100mL	250	10 ³	/	/

Tableau 13 : Valeurs limites concernant l'AC pour les paramètres physico-chimiques, microbiologiques et agronomiques

Pour la fraction solide, désignée comme étant de la Matière d'Intérêt Agronomique issues du Traitement des Eaux (MIATE), les valeurs limites réglementaires sont présentées dans le chapitre III, concernant la gestion des

¹⁴ Il s'agit d'effluents non domestiques dans les réseaux de collecte des eaux usées.

¹⁵ Article L1331.1-4 « Salubrité des immeubles et des agglomérations » de 2007.

¹⁶ http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/DGALN_AC-2.pdf

¹⁷ <http://www.beze.fr/wp-content/uploads/2011/03/ASSAINISSEMENT-Feuille-recommandations-population.pdf>

http://www.charte-assainissement56.org/telecharger/guidetechnique/guidetechnique_schemas.pdf

¹⁸ Directive Cadre Européenne 91/271/CEE.

¹⁹ Arrêté du 02/08/2010.

boues.

II. L'assainissement non collectif

En 2013, plus de 5 millions d'installations d'assainissement non collectif (ANC) ont été recensées. Il est estimé que 20 % de la population française utilise un dispositif autonome afin de traiter ses eaux usées domestiques²⁰.

La première réglementation relative à l'ANC fut stipulée dans l'arrêté de 1996 [4] fixant les prescriptions techniques applicables aux ouvrages d'ANC pour assurer leur compatibilité avec les exigences de la santé publique et de l'environnement (prétraitement, épuration et évacuation des effluents).

S'ensuit quatre arrêtés distincts :

- Le premier en Juin 2007 [5] impose des seuils de concentrations de différents paramètres pour les équipements d'ANC traitant un charge >20 EH.
- puis trois autres en Septembre 2009 [6], seront modifiés par l'arrêté du 7 mars 2012 :
 - o prescriptions techniques minimales applicables au traitement
 - o Contrôle des installations par le Service Public de l'Assainissement Non Collectif (SPANC) ainsi que trois autres principes : la mise en place d'installations neuves de qualité et conformes à la réglementation, la réhabilitation prioritairement les installations existantes qui présentent un danger pour la santé ou un risque de pollution pour l'environnement et profiter des ventes de l'habitation/ immobilière pour accélérer le rythme des réhabilitations des installations présentes.
 - o entretien et élimination des sous-produits et matières de vidange d'assainissement non collectif ; mentionnant les modalités d'agrément des structures réalisant les vidanges ; les dispositions prises pour le suivi et la bonne gestion des boues de vidanges extraites des installations d'ANC font partie de cet agrément.

Ces arrêtés fixent les valeurs limites pour une charge <20 EH (tableau 14).

Les recommandations quant à la gestion des dispositifs d'ANC sont recueillies dans le guide d'informations pour les usagers²¹.

Y sont détaillés les fondamentaux tels que l'interdiction de jeter de l'huile, graisses de friture et de vidange, solvants, cires, résines, pesticides, produits toxiques, les objets difficilement dégradables, etc.

Mais également sur l'installation, les distances à respecter vis-à-vis de l'habitation, des limites de propriété, des arbres, voiries publiques, zone de passage ; vidange et mise en conformité.

²⁰ Chiffre du Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie.

²¹ http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/ANC_Guide-usagers_web_02-10-12_light.pdf

Dans le cadre réglementaire de l'assainissement non collectif, les valeurs limites de rejets sont explicitées dans le tableau ci-dessous :

paramètres physico-chimiques	MES (mg/L)	DCO	DBO ₅ (mg/L)
Eaux usées domestiques traitées (<20EH) ²²	<30	>60% (taux d'abattement)	<35
Eaux usées domestiques traitées (>20EH) ²³	<35	<125 mg/L	<25

Tableau 14 : Valeurs limites concernant l'ANC pour les paramètres physico-chimiques

Les boues issues du traitement par une installation d'ANC, l'article R211-29 du Code de l'Environnement (2007) les assimile aux boues de STEP (ils sont présentés dans le chapitre III). De plus, d'après les textes mentionnés ci-dessus, les paramètres microbiologiques sont des analyses facultatives, à réaliser à la demande du fabricant sur les effluents, en entrée et en sortie de l'installation (sur échantillons ponctuels), il n'y a pas de valeurs seuils pour ces paramètres.

III. La gestion des boues

Les différents chapitres ci-dessous concernant la gestion des boues abordent de manière conjointe les boues issues de l'ANC et de l'AC en fonction de la filière (traitement + valorisation).

1. Matières d'Intérêt Agronomique issues du traitement des Eaux (MIATE)

Les boues issues du traitement des eaux (urbaines ou industrielles) sont constituées de Matières En Suspension (MES²⁴), de bactéries mortes, floculants minéraux et autres polluants dissous.

Dans le cadre de l'ANC, les matières de vidanges ont plusieurs destinations (centre de traitement, dépositante²⁵, épandage). Cependant elles sont assimilées aux boues de STEP (cadre de l'AC) car la pratique du dépotage en station d'épuration (non saturé et agréée à cette pratique) est prédominante.

La circulaire de Décembre 1987 [7] impose la mise en place d'équipements susceptibles d'éliminer correctement les matières de vidange. S'ensuit l'arrêté de Mai 1996, renseignant la fréquence et l'élimination des matières de vidange des ANC. Le décret de Décembre 1997 précise qu'elles ne peuvent être épandues sur les terres agricoles que si elles présentent un intérêt pour l'alimentation des cultures.

En Janvier 1998 [8], des prescriptions techniques applicables aux épandages de boues issues du traitement des eaux usées sur les sols obligent (i) la réalisation d'une étude préalable d'épandage, (ii) la réalisation d'un programme d'analyse des boues et des sols et (iii) la tenue d'un registre d'épandage.

La réglementation de 1998 précise les teneurs maximales en ETM²⁶/CTO²⁷/microbiologique et agronomique des boues avant toute valorisation agricole.

La norme NFU 44-095 [10] précise que ces boues doivent être conformes à ce règlement avant compostage.

²² Arrêté du 07/03/2012 [9].

²³ DCE 91/271.

²⁴ MES : résidus d'activités des ménages ou industriels et de bactéries vivantes.

²⁵ Une dépositante est : " un emplacement à l'air libre, spécialement choisi et aménagé pour recevoir un volume défini de matières de vidange de fosses d'aisance en vue d'en permettre l'évolution et un séchage satisfaisants, sans nuisance pour le voisinage ".

²⁶ Eléments Traces métalliques.

²⁷ Composés Traces Organiques (HAP et PCB).

		MIATE brutes (pour épandage) (mg/kg MS)			MIATE brutes (pour épandage)	
ETM	Cd	10 (depuis le 01/01/2004)	paramètres micro-organiques	<i>Salmonelles</i>	<8 NPP ²⁸ /10 g de MS ²⁹	
	Cr	10 ³		entérovirus	<3 NPPU ³⁰ /10g MS	
	Cu	10 ³		<i>Oeufs d'helminthes</i>	<3 / 10g MS	
	Hg	10		<i>E. coli</i>	<10 ⁴ /g MB ³¹	
	Ni	200		<i>Clostridium p.</i>	<10 ³ /g MB	
	Pb	800		<i>Streptocoques fécaux</i>	<10 ⁵ /g MB	
	Zn	3000		paramètres agronomiques	P ₂ O ₅	60 kg /ha MS
	CTO= PCB+HAP	PCB			0.8	K ₂ O
Fluorenthène		5	%MO (sur MS)		>50	
Benzo(a)pyrène		2	N _{tot}		50 kg/ha MS	
Benzo(b)fluoranthène		2,5				

Tableau 15 : Seuils explicités dans le règlement d'épandage de 1998 pour les MIATE brutes (pour épandage) ³²

Par ailleurs, quelques recommandations pratiques sont proposées par le règlement de 1998 et par le Comité national des boues (CNB) tel que : la maîtrise des rejets contaminants dans les réseaux, une large information pour que les épandages soient clairement acceptés par tous, un contrôle analytique bien organisé pour garantir la connaissance des boues épandues et des sols récepteurs, un code de bonnes pratiques d'épandage pour que chaque intervenant fasse exactement ce qu'il doit faire, ... Il est également recommander de ne pas épandre les boues pendant les périodes de gel ou de forte pluviosité, sur les terrains en forte pente, sur cultures maraichères, sur sols non exploités ou faisant l'objet d'opération de reconstitution de sols.

2. Le Compostage des boues

Dans le cas du compostage des boues, la transformation en compost normé ayant un statut de produit parait

²⁸ Nombre plus probable.

²⁹ Matières sèches

³⁰ Nombre plus probable unité cytopathogène.

³¹ Matières brutes.

³² Valeurs explicitées dans la NFU 44-095 – ANNEXE A – tableau B.1

dans la Norme NFU 44-095 et a été rendue obligatoire par l'arrêté du 18 Mars 2004 [11].

Ce compost est utilisé majoritairement en agriculture mais aussi par des pépiniéristes ou sur des espaces verts comme humus dans l'amendement des sols dans le respect de cette norme.

La constance de composition des produits normalisés est encadrée par l'arrêté du 7 Juillet 2005 [12] relatif aux écarts admissibles concernant les matières fertilisantes et les supports de culture.

Pour cette filière, les valeurs limites de rejets sont explicitées dans le tableau ci dessous.

Spécifiquement, les paramètres de la NFU 44-095 sont prises comme références pour l'étude des Toilettes Sèches familiales.

		Compost produit (MIATE ou co-compostage de MIATE, pour une revente)³³	Engrais commercialisés³⁴
paramètres agronomiques	% MS (sur MB)	>50	-
	%MO (sur MB)	>20	-
	%MO (sur MS)	>30	
	%H	50-70	
	N _{tot}	<3 % sur MB	si un élément est >3% (sur MB)
	P ₂ O ₅	<3 % sur MB	
	K ₂ O	<3 % sur MB	
	N+K+P	<7 % sur MB	>7 % sur MB
paramètres microbiologiques	<i>Salmonelles</i>	Abs / 25g MB	Abs dans 25g de MB
	<i>Œufs d'helminthes</i>	Abs / 25 g MB	-
	<i>E. coli</i>	<10 ³ /g MB	<10 ³ /g MB
	<i>Clostridium p.</i>	<10 ² /g MB	-
	<i>Clostridium p. spores</i>	<10 ² /g MB	-
	<i>Entérocoques</i>	<10 ⁵ /g MB	-

Tableau 16 : Valeurs limites concernant le compostage des boues et pour les engrais commercialisés pour les paramètres agronomiques et microbiologiques

³³ NFU 44-095 – valeurs pour utilisation en culture maraichère

³⁴ NF U 42-001 [13] et Arrêté du 5 septembre 2003 [14]

3. Le Stockage dans une Installation de Stockage des Déchets Non Dangereux (ISDND)

La loi du 13 juillet 1992 [15] précise que seuls les déchets ultimes peuvent être mis en décharge et instaure la taxe de mise en décharge (TGAP). L'élimination des boues en ISDND (anciennement CET) doit donc être considérée comme une filière de secours.

Spécifiquement, seuls les paramètres réglementaires concernant le rejet des lixiviats sont intéressants. La réglementation européenne d'Avril 1999 [16] et la réglementation française de Septembre 1997 [17] fixent l'obligation de collecter et de traiter les lixiviats avant leur rejet dans le milieu naturel.

Peu d'informations ont été trouvées quant aux valeurs seuils à respecter des lixiviats, c'est pour cela que les normes des pays suivants : Canada et Suisse ont été consultées.

		Lixiviats des ISDND (avant rejets en cours d'eau)
paramètres physico-chimiques	MES (mg/L)	<35 90
	pH	5,5 et 8,5 6-9,5
	DBO ₅ (mg/l)	<30 150
	DCO (mg/L)	< 125
paramètres agronomiques	NH ₄ ⁺ (mg/L)	0,2 à 0,4 25
	NO ₃ ⁻ (mg/L)	5,6
	N _{total} (mg/L)	< 30
	NO ₂ ⁻ (mg/L)	30
paramètre microbiologique	<i>E. coli</i> (UFC)	275

Tableau 17 : Valeurs limites concernant les ISDND pour les paramètres agronomiques et microbiologiques.

123 : normes françaises du 09/09/97

123 : normes canadiennes³⁵

123 : normes OSEC-Suisse

³⁵ <http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/LET-madeleine/documents/DB10.pdf> ; p.5

IV. Le compostage

1. Compostage industriel

Il existe différents types de compostage industriel : des effluents et résidus d'élevage, des Ordures ménagères Résiduelles, des boues de STEP, les déchets verts³⁶, des biodéchets³⁷, etc..

La loi de Juillet 1975 [18] est dite la première loi déchet en France qui initie la politique relative à l'élimination des déchets et à la récupération des matériaux.

Toutes activités de compostage industriel de déchets est régie par la loi de Juillet 1976 [19] relative aux Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE)³⁸, et par l'arrêté de Janvier 2002 qui prévoit, entre autres, des exigences spécifiques pour limiter l'impact des rejets liquides mais aussi des nuisances relatives aux odeurs ou au bruit. L'arrêté de Septembre 2003 portant sur la mise en application obligatoire de la norme NFU 44-051 [20] s'applique pour cette filière car il s'agit d'un amendement organique (si utilisé hors du site de compostage) et la NF 44-095³⁹ s'applique s'il s'agit de co-compostage avec des MIATE.

L'arrêté d'Avril 2012 [21] prescrit aux exploitants des recommandations quant à l'installation de leur aire de compostage et à la tenue d'un registre mis à jour.

		lixiviats résultant du compostage industriel⁴⁰ (avant rejet dans le milieu naturel)
paramètres physico-chimiques	MES (mg/L)	<100
	pH	5,5-8,5
	DBO ₅ (mg/l)	<100
	DCO (mg/L)	<300
paramètre agronomique	N _{total} (mg/L)	<30

Tableau 18 : Valeurs limites concernant les lixiviats issus des composts industriels pour les paramètres physico-chimiques et agronomiques.

2. Compostage domestique et collectif

Le compostage « domestique » est l'appellation récente (depuis 2006 – Plan National de Soutien au Compostage Domestique) du compostage individuel.

Si à ce jour, le développement du compostage domestique ne soulève pas de question réglementaire particulière, le compostage partagé ou collectif ainsi que le compostage autonome en établissement par de gros producteurs de biodéchets peuvent nécessiter des précisions quant à leur encadrement (comme vu précédemment et dans la circulaire du 13/12/12 [22]).

En effet, le compost issu du compostage partagé est un amendement organique et doit répondre à la Norme NFU 44-051, qui fixe des valeurs limites pour des impuretés non organiques, micropolluants chimiques et agents pathogènes.

La circulaire du 13 décembre 2012 relative aux règles de fonctionnement des installations de compostage de proximité précise le cadre technique et organisationnel dans lequel ces opérations de compostage doivent être mises en place et conduites pour réunir les meilleures conditions d'efficacité, de pérennité et de protection de

³⁶ Déchets verts : déchets provenant de l'entretien des espaces verts : tailles de haie, résidus d'élagage, feuilles mortes, tonte de gazon, déchets de massifs, ...

³⁷ Biodéchets : ensemble des déchets verts, déchets de cuisine (épluchures, restes alimentaires) et déchets en cellulose.

³⁸ Nouvellement appelé ISDND

³⁹ cf valeurs du tableau 16.

⁴⁰ Valeurs limites indiquées dans l'arrêté du 22 Avril 2008 [23].

l'environnement (pour toutes installations).

En ce qui concerne le compostage domestique, la réglementation est limitée, il existe quelques textes mentionnant/promouvant cette pratique telle que la charte de l'environnement adoptée en 2005 qui insiste sur le fait que nous devons préserver l'environnement pour les générations futures, et conclut que l'acte de composter, en diminuant le volume des déchets, est bien un acte citoyen. Le plan National du soutien au compostage domestique (lancé depuis 2006) et la circulaire d'Avril 2007 [24] relative aux plans de gestion des déchets ménagers incitent les collectivités à encourager les particuliers à pratiquer le compostage domestique.

La récente étude, menée par l'IRSTEA⁴¹ [25], parue sur le Compostage Domestique (CD) individuel et collectif, permet d'établir un tableau d'analogie entre ces deux modes de compostage ; additionnée à quelques travaux scientifiques d'outre-mer.

D'un point de vue physico-chimique et agronomique, les composts finaux résultant des études sur « l'influence du type de composteur » [26] et « le suivi des pratiques réelles du compostage collectif et individuel » [27] répondent aux exigences des normes françaises (AFNOR, 2006).

L'étude d'IRSTEA (2012) montre que les composts issus du compostage partagé sont plus riches en matière organique que ceux issus du compostage domestique, qui a tendance à être inférieur aux normes.

De plus une étude canadienne [28] a démontré à partir de trois échantillons de provinces différentes, que les composts obtenus étaient de même qualité et d'innocuité que les composts commerciaux de déchets verts.

Cependant, l'étude «Suivi des pratiques réelles du compostage domestique sur Rennes Métropole» d'IRSTEA (2012), qui compare les usagers expérimentés et non expérimentés met en évidence la présence d'œufs d'helminthes (chez plus de 20% des usagers) or l'absence de ces derniers est exigée dans la législation.

Les études sur le compostage de proximité soulignent que les températures des composts domestiques sont aux alentours de 20°C tandis que ceux du compostage partagé plafonne à 40°C. La contrainte pour atteindre une température voisine de 60°C, dans le cas d'un Compostage Domestique est une alimentation en « batch » (non hebdomadaire) [25, 27].

V. Analogies avec le contexte des Toilettes sèches

1. Réglementation

L'arrêté du 7 septembre 2009 (révisé en 2012 [29]) fixant les prescriptions applicables aux installations recevant une pollution organique inférieure ou égale à 20 EH, autorise explicitement l'installation de Toilettes Sèches (TS).

Ces installations sont contrôlées par le SPANC conformément à l'arrêté de 2009 (révisé en 2012) relatif aux modalités d'exécution de la mission de contrôle des installations d'assainissement collectif. En plus des points imposés par l'arrêté, l'étanchéité de la cuve recevant les matières, l'épandage des matières et l'absence de nuisance pour le voisinage et de pollution visible devront faire l'objet du contrôle.

Peu d'articles/bibliographies scientifiques discutant des pratiques de compostage des sous-produits de Toilettes Sèches (TS) existent.

⁴¹ Étude ECOVAL d'IRSTEA. Les paramètres suivis lors de ces études sont physico-chimiques, agronomiques, microbiologiques, certains facteurs (température : t°, organoleptique, agent structurants), et les pratiques des usagers comme le retournement et l'arrosage.

2. Hygiénisation

Température

L'OMS (2006) recommande pour assainir un compost de matière fécale une température supérieure à 50°C et cela pendant plus de trois jours. Cette consigne est respectée pour le Compostage Domestique, dans le cas de l'utilisation d'un composteur en plastique ou en tas (car pas d'obstacle pour la convection naturelle de l'air), un peu moins dans le cas d'un composteur en bois car il est plus obstrué (cas d'une alimentation en batch) [26].

Deux études concernant les toilettes sèches (la première traitant du compostage de la matière fécale [30] et la seconde du co-compostage des fèces avec des biodéchets [31]) citent l'absence des organismes pathogènes dans leurs composts finaux. Les hypothèses avancées sont les fortes températures (>50°C) atteintes ; pendant plusieurs jours (>4 jours) [30, 31, 32] et cela près de trois mois après le début de compostage [33] ; mais également l'alcalinité du produit obtenue et la présence de NH₃.

Brassage

Le brassage du compost est conseillé comme l'étude sur le retournement et l'arrosage des composts domestique par IRSTEA (2012) [27]. S'il est observée que la qualité physico-chimique des composts finaux, ne varie pas avec les pratiques de brassage et d'arrosage ; il est cependant observé que les émissions d'odeurs et de gaz à effet de serre étaient moindres avec un brassage plus fréquent. Il est d'autant plus recommandé dans le cas d'un compostage dans un silo en bois car ce dernier est très peu perforé (limitant la convection naturelle de l'air). Ainsi, un bon mélange permet de maintenir une phase thermophile plus longue.

Illemer et al (1997) et Alexander (2007) [34] s'accordent à dire que cette pratique du brassage permet une diminution pouvant aller jusqu'à 97 % du volume du compost car la biodégradabilité est augmentée, et elle permet d'obtenir un compost plus riche en éléments nutritif (NO₃⁻ notamment du fait du processus de dénitrification nécessitant de l'oxygène) [35].

Les thèses sur les TS recommandent un brassage fréquent surtout lorsqu'il est dans la phase thermophile afin d'assainir l'ensemble du compost et d'accélérer la nitrification.

Agents structurants

Les agents structurants carbonés (pailles...) sont des éléments apportés dans le compost dans un rôle d'aération de ce dernier.

Illemer (1997) [36] nous explique que cet élément est important quant à l'humidité de la matière et à l'élimination rapide de l'ammoniaque gazeux. Les études sur le compostage de sous-produits de TS ajoutent que cette source de Carbone, fournit de l'énergie au système et permet ainsi un chauffage biologique rapide du compost ; l'IRSTEA (2012) n'en voit pas la nécessité car d'après leurs résultats cet élément conduit à la chute du pH du produit, et à la réduction de l'étape thermophile du compost et à la dilution de la matière organique (résultats pour les biodéchets).

Arrosage

La pratique de l'arrosage du compost est très peu mentionnée, cependant dans la thèse de Niwagaba C B. (2009) [33], ce dernier affirme que l'humidité du co-compostage doit être inférieure à 60% sous peine d'obtenir des zones anaérobies dans le compost.

	Compost domestique (CD)		Compost de toilettes sèches (TS)
	CD en France et retour d'expériences des pays voisins		Données de la littérature
Paramètres physico-chimiques	Respect des normes (NFU 44-051 et NFU 44-095), dont pour les CTO et ETM (pas toujours le cas pour MS et MO) [25, 26, 27,37] Remarque [ETM] CD collectif < [ETM] CD		–
Paramètres agronomiques	Acceptable selon les normes européenne et canadienne Remarque : MO faible dans composts pour les CD individuels. [25, 26, 27,37]		–
Paramètres microbiologiques	Respect des normes [26,37]	Présence d'œufs helminthes en CD individuel dans plus de 20% des cas. [25]	Absence constatée des pathogènes [30, 31] en accord avec l'OMS qui recommande t>50°C, pendant plusieurs jours et un compostage de 18-24mois.
T°C	Proche de 20°C en CD individuel Proche de 40°C en CD collectif Atteint 60°C pour alimentation en batch [25, 26,27] Constate que les bacs à gros volume (et remplis) atteignent des températures élevées [34].		Température supérieure à 45°C atteinte et cela pendant plusieurs jours (>4) et après 3-4 mois de compostage [30, 31, 32], en accord avec les recommandations de l'OMS.
Brassage	Nécessaire si utilise un composteur en bois. [27] Permet une réduction de volume plus importante [34] Permet également de favoriser la dénitrification [35].	Permet de diminuer les odeurs et les GES. Impact sur l'homogénéité du produit fini. [25,27]	Recommande fortement le brassage pour accélérer la transformation $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3^-$ [31, 32]. Indispensable lors de la phase thermophile, afin que l'ensemble du compost soit assaini [33].
Agents structurant	Il influe sur la perte d'azote. [36]	Pas nécessaire (dans le cas de substrats possédant une porosité suffisant) [27] car réduit la phase thermophile/ diminue le pH / dilue MO _{biodegradable}	Permet d'avoir de l'espace dans le compost ($\text{NH}_3(\text{g})$), source de Carbone et fournit de l'énergie aux décomposeurs qui permettent une montée en T°C biologique plus rapide du compost [31]
Arrosage	Peu l'arrose jamais (45%) ou que lorsqu'il est sec (45%) [25] Peu de sites d'étude sont en excès [37]		<60% (sinon formation de zone anaérobie) [33]
Paramètres organoleptiques	Peu d'odeur constatée (tas / bac en bois/ bac en plastique) [25,26] hétérogénéité : des composts individuels et des composts des non expérimentés [25, 37] Plus de brun foncé chez CD individuel que collectif.		
Conclusion ou remarque	Meilleure composition : déchets de cuisine et déchets de jardin (50/50) (→plus de biodégradabilité). Le tas et le bac en plastique sont les meilleurs composteurs d'un point de vue hygiénisation (au bout de 3 jours t°>60 et maintenue pendant 3jours) si remplissage en batch. Ajout d'agent structurant pas nécessaire. Pas de différence sur la qualité physico-chimique du compost final entre CD collectif et individuel. Pas d'influence des pratiques sur la qualité physico chimique finale du compost.		Le retournement augmente la capacité nutritive et l'hygiénisation du compost dans sa globalité. Les agents structurants permettent d'avoir de l'espace dans le compost pour favoriser le dégagement de NH_3 gazeux. En tant que source de Carbone, ils fournissent de l'énergie au système permettant une augmentation de T°C biologique rapide du compost. Si NH_3 est trop important, il y a un risque d'inhibition de la dégradation aérobie.

Tableau 19 : Tableau d'analogie entre le compostage domestique et le compostage de toilettes sèches.

VI. Synthèse analogique

Paramètres suivis dans le cadre de l'étude		Phase solide		Phase liquide			
		Compost de biodéchets domestique ⁴²	Compost industriel (NFU 44-095)	Lixiviats issus des ISDND	Eaux de ruissellement issues du compostage industriel	Eaux usées traitées (AC)	Eaux usées domestiques traitées (ANC)
paramètres physico-chimiques	MES	-	-	<5.25 g/j/1EH	<15 g/j/1EH	<5.25 g/j/1EH	<0.09 kg/j/20EH = 4.5 g/j/1EH
	pH	7 - 8	-	5,5 - 8,5	5,5 - 8,5	-	-
	DCO	700-800 gO ₂ /kg MS	-	< 18.75 g/j/1EH	<45 g/j/1EH	<18.75 g/j/1EH	-
	DBO ₅	-	-	<4.5 g/j/1EH	<15 g/j/1EH	<3.75 g/j/1EH	<0.105 kg/j/20EH = 5.25 g/j/1EH
paramètres microbiologiques	<i>E. coli</i>	600 – 6300 UFC/g	<10 ³ /1g MB	275 UFC (norme canadienne)	-	10 ¹ -10 ⁵ UFC/100ml	-
	<i>Entérocoques</i>	400 – 16000 UFC/g	<10 ⁵ /1g MB	-	-	10 ⁻¹ – 10 ³ UFC/100ml	-
paramètres agronomiques	MS	60% (40% CD individuel)	>50 % sur MB	-	-	-	-
	MO	45-50 % MS	>20 % sur MB	-	-	-	-
	NTK	20g /kgMS (0.65% MB CD individuel)	<3 % sur MB	< 4.5 g/j/1EH	<4.5 g/j/1EH	<2.25 g/j/1EH	-
	K ₂ O	0.58% MB	<3 % sur MB	-	-	-	-
	P ₂ O ₅	0.43 % MB	<3 % sur MB	-	-	0.3 g/j/1EH	-

Tableau 20 : Tableau des valeurs limites références.

⁴² Valeurs moyennes obtenues pour les silos en bois des études de l'IRSTEA - étude sur le compostage de déchets de cuisine et de jardin.

Références bibliographiques

- [1] Journal Officiel des Communautés Européennes – JOCE n° L 135 du 30 Mai 1991 (p.40) – DCE 91/271/CEE relative au traitement des eaux urbaines résiduaires
http://www.cc-coeurdesbauges.fr/UserFiles/File/environnement/spanc/directive_du_21_mai_1991.pdf (consulté en Août 2014)
- [2] Journal Officiel de la République Française – JORF n°3 du 04 Janvier 1992 (p.187) – Loi n° 92-3 sur l'eau
<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT00000173995&dateTexte=&categorieLien=id> (consulté en Août 2014)
- [3] 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
<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000022753522&dateTexte=&categorieLien=id> (consulté en Août 2014)
- [4] Journal Officiel de la République Française – JORF n°132 du 8 Juin 1996 (p. 8472) – Arrêté fixant les prescriptions techniques applicables aux systèmes d'assainissement non collectif
http://www.charteanc64.fr/public/docs/reglementation/arrete_du_6_mai_1996.pdf (consulté en Août 2014)
- [5] Journal Officiel de la République Française – JORF n°162 du 14 Juillet 2007 (p. 11937) – Arrêté 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.
http://www.charteanc64.fr/public/docs/reglementation/arrete_du_22_juin_2007.pdf (consulté en Août 2014)
- [6] Journal Officiel de la République Française – JORF n°0234 du 9 Octobre 2009 (p. 16476) – Arrêté définissant les modalités d'agrément des personnes réalisant les vidanges et prenant en charge le transport et l'élimination des matières extraites des installations d'assainissement non collectif
http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do;jsessionid=7357E387FDCCCB0B702C011AC43A0E9F.tpdjo02v_3?cidTexte=JORFTEXT000021125184&categorieLien=id (consulté en Juillet 2014)
- [7] Circulaire n° ENV-M 8701010 du 14 Décembre 1987 - circulaire relative au schéma d'élimination de matière de vidange
http://www.ineris.fr/aida/consultation_document/8403 (consulté en Juillet 2014)
- [8] Journal Officiel de la République Française - JORF n°26 du 31 Janvier 1998 (p. 1563) - Arrêté 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
<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000570287&fastPos=1&fastReqId=540263988&categorieLien=id&oldAction=rechTexte> (consulté en Août 2014)
- [9] Journal Officiel de la République Française - JORF n°0098 du 25 Avril 2012 (p. 7348) - Arrêté sur 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
<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000025743299&dateTexte&categorieLien=id> (consulté en Août 2014)
- [10] AFNOR, NFU 44-095 (Mai 2002) - Composts contenant des matières d'intérêt agronomique, issues du traitement des eaux
- [11] Journal Officiel de la République Française - JORF n°73 du 26 Mars 2004 (p. 5792) - Arrêté portant mise en application obligatoire d'une norme
<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000613086> (consulté en Août 2014)

- [12] Journal Officiel de la République Française - JORF n°247 du 22 Octobre 2005 (p. 16762) – Arrêté relatif aux écarts admissibles en ce qui concerne les matières fertilisantes et les supports de culture
<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000241443> (consulté en Août 2014)
- [13] AFNOR, NFU 42-001 (Février 1991) - Engrais - dénominations et spécifications
- [14] Journal Officiel de la République Française - JORF n°235 du 10 Octobre 2003 (p. 17309) - Arrêté portant sur la mise en application obligatoire de normes
- [15] Journal Officiel de la République Française - JORF n°162 du 14 Juillet 1992 (p. 9461) - Loi n°92-646 relative à l'élimination des déchets ainsi qu'aux installations classées pour la protection de l'environnement
<http://legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000345400> (consulté en Août 2014)
- [16] Journal Officiel des Communautés Européennes - JOCE n°L 182 du 16 Juillet 1999 et rect. JOCE n°L 282 du 5 novembre 1999 – Directive n° 1999/31/CE concernant la mise en décharge des déchets
http://www.ineris.fr/aida/consultation_document/1013 (consulté en Août 2014)
- [17] Journal Officiel de la République Française - JO n° 229 du 2 Octobre 1997 – Arrêté relatif aux installations de stockage de déchets non dangereux
http://www.ineris.fr/aida/consultation_document/5673 (consulté en Août 2014)
- [18] Journal Officiel de la République Française - JORF du 16 Juillet 1975 (p. 7279) - Loi n° 75-633 relative à l'élimination des déchets et à la récupération des matériaux - Version consolidée au 21 septembre 2000
<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000888298> (consulté en Août 2014)
- [19] Journal Officiel de la République Française - JORF du 20 Juillet 1976 (p. 4320) - Loi n°76-663 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement
<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000684771&dateTexte=> (consulté en Août 2014)
- [20] AFNOR, NFU 44-051 (Avril 2006) - Amendements organiques, dénominations, spécifications et marquage
- [21] Journal Officiel de la République Française - JORF n°0104 du 3 Mai 2012 (p. 7794) - Arrêté relatif aux prescriptions générales applicables aux installations classées de compostage soumises à enregistrement sous la rubrique n° 2780
<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000025789288&fastPos=1&fastReqId=395414939&categorieLien=id&oldAction=rechTexte> (consulté en Août 2014)
- [22] Circulaire de Décembre 2012 relative aux règles de fonctionnement des installations de compostage de proximité
http://www.bulletin-officiel.developpement-durable.gouv.fr/fiches/BO201224/met_20120024_0100_0039.pdf
(consulté en Août 2014)
- [23] Journal Officiel de la République Française - JORF n°0114 du 17 Mai 2008 (p. 8058) - Arrêté fixant les règles techniques auxquelles doivent satisfaire les installations de compostage soumises à autorisation en application du titre 1er du livre V du code de l'environnement
<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000018800981> (consulté en Août 2014)
- [24] Circulaire d'Avril 2007 relative aux plans de gestion des déchets ménagers
http://www.ineris.fr/aida/consultation_document/7295 (consulté en Août 2014)
- [25] TREMIER, A. (coord.) (2012) ECCOVAL -Vers un plus grand engagement des citoyens bretons dans la gestion de leurs déchets : Comment valoriser la pratique du compostage individuel et du compostage de proximité comme outil de gestion domestique des déchets ménagers. Projet Région Bretagne ASOSC 2008.
<http://cemadoc.irstea.fr/oa/PUB00036688-eccoval-vers-plus-grand-engagement-des-citoyens-br.html>. 278p
- [26] ADHIKARI, B.K., TREMIER, A., MARTINEZ, J., BARRINGTON, S. (2012) - Home composting of organic waste: Part. 1 Effect of home composter design. *International Journal of Environmental Technology and*

Management, vol. 15, n° 3, 4, 5, 6, p. 417-437

[27] ADHIKARI, B.K., TREMIER, A., MARTINEZ, J., BARRINGTON, S. (2012) - Home composting of organic waste: Part. 2 Effect of management practices. *International Journal of Environmental Technology and Management*, vol. 15, n° 3, 4, 5, 6, p. 438-464

[28] Preston, C., Cade-Menun, B., Sayer, B. (1998) - Characterization of Canadian Backyard Composts: Chemical and Spectroscopic Analyses. *Compost Science and Utilization* 6, 53-66.

[29] Journal Officiel de la République Française - JORF n°0098 du 25 Avril 2012 (p. 7348) – Arrêté modifiant l'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
<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000025743299&dateTexte&categorieLien=id>
(consulté en Août 2014)

[30] Holmqvist A., Moller J., Dalgaard A. (2002) – Thermophilic composting – a hygienization method of source-separated fecal toilet waste, 2002

[31] Baumeier A. (2003) – Diploma thesis: New Toilets for India Slums – Nutrients Mass Balance of a Co-Composting Plant in Bangalore, India – Biotechnology, 101 pages

[32] Hill G.B, Baldwin S.A, Vinneras B. (2012) – Composting toilet a misnomer: excessive ammonia from urine inhibits microbial activity yet is insufficient in sanitizing the end-product

[33] NIWAGABA C. B. (2009) – Doctoral thesis: Treatment technologies for Human faeces and urine – Department of Energy and Technology – 91 pages

[34] Alexander P.D. (2007) – Effect of turning and vessel type on composting temperature and composition in backyard composting

[35] Alexander P.D (2009) – An assessment of the suitability of backyard produced compost as potting soil

[36] Illmer P. and Schinner F. (1997) – Compost turning – a central factor for a rapid and high-quality degradation in household composting

[37] TREMIER, A. (2012) Home-made compost quality: methods of assessment and results. LIFE Project MINIWASTE.
<http://www.miniwaste.eu/fr/boite-a-outils/protocoles.html>. 36p

Glossaire

Pour certain de ces paramètres, il s'agit d'indicateurs de qualité usuellement mesurés.

Batch : traitement par lots ou piles cumulés.

$\frac{C}{N}$: le rapport Carbone sur Azote est un indicateur qui permet de juger l'aptitude de décomposition plus ou moins rapide de la matière organique dans le sol.

DBO₅ : la demande biologique/biochimique en Oxygène, calculée après 5 jours, réfère à la matière organique (fraction biodégradable) présente de la charge polluante.

DCO : la demande chimique en Oxygène correspond à l'analyse de la consommation d'O₂ nécessaire pour oxyder la totalité de la charge polluante (substances organiques et minérales).

MES : la matière en suspension est l'ensemble des matières solides insolubles, décantables présent dans un liquide.

NH₃ : l'Ammoniaque, composé transitoire entre l'azote organique et l'azote nitrique, il est relativement stable et peut être toxique.

NH₄⁺ : l'ion Ammonium, forme absorbée par les plantes et retrouvée initialement dans le compost (car pH faible).

NO₂⁻ : l'ion Nitrite, composé intermédiaire (instable, polluant et toxique) de la nitrification.

NO₃⁻ : l'ion Nitrate est la forme la plus facilement assimilable de l'Azote par les plantes, très soluble et mobile ; en abondance il provoque par lessivage l'eutrophisation des cours d'eau.

K₂O : Oxyde de Potassium, résultat exprimant le Potassium totale présent dans le compost, nutriment majeur indispensable au développement de la plante.

MO : matière organique, élément décomposé par les micro-organismes en présence d'Oxygène qui la transforment en éléments simples dont s'alimentent les végétaux.

MS : matière sèche, résultant du séchage de la MO et MM des boues. Indicateur de réduction du volume du compost, elle renferme la plupart des éléments nutritifs utiles aux plantes, notamment l'azote, le Phosphore et le Potassium.

NTK : Azote total Khejidal (N-organique et N-NH₃) présent dans la matière et pouvant être dégradé par les bactéries.

P₂O₅ : Pentaoxyde 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.

Clostridium p. 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 vers parasites, responsables du fort taux de mortalité chez l'Homme, en particulier dans les pays en développement. Ils résistent à la plupart des traitements physiques, se développent 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.

Annexe 3 : Guide de présentation de l'étude aux familles



Gestion des sous-produits de toilettes sèches familiales,

Étude sur le traitement des matières par compostage

Guide à destination des utilisateurs des sites suivis

Octobre 2012

Présentation du projet

L'utilisation de toilettes sèches familiales/domestiques se développe en France depuis plusieurs années. Plusieurs techniques de toilettes sèches existent et l'offre de modèles s'est nettement étoffée ces dernières années. La toilette à litière, constituée d'un réceptacle de faible volume (environ 20 litres) vidangé fréquemment sur une aire de compostage extérieure a été le premier système utilisé et reste aujourd'hui celui le plus largement utilisé en France à l'échelle familiale.

Le traitement des sous-produits d'une toilette à litière est réalisé sur une aire de compostage extérieure. Cette aire comprend plusieurs composteurs (généralement 3 voir plus) utilisés successivement de sorte qu'il est possible de savoir la durée exacte de compostage sans nouveaux apports de matériaux frais. Les recommandations actuellement préconisées par les professionnels du secteur sont de réaliser un compostage de longue durée, de 1,5 à 2 années après la dernière vidange dans un composteur.

Cette durée longue n'est pas due à une difficulté particulière à dégrader ce type de matières organique (mélange de litière carbonée imbibée d'urine, de matières fécales et de papier hygiénique), lesquelles peuvent être déjà bien compostées au bout de 6 mois seulement. Elle trouve sa justification dans la nécessité d'assurer une hygiénisation suffisante des matières, et notamment des matières fécales qui peuvent être porteuses de germes pathogènes et donc à l'origine de transmission de maladies.

Une étude bibliographique réalisée en 2010 a mis en évidence un manque de données scientifiques sur les performances hygiénisantes du compostage de sous-produits de toilettes sèches à l'échelle familiale. Les observations de terrain montrent qu'il est difficile à cette échelle, en particulier si les utilisateurs ne portent pas un intérêt prononcé au processus de compostage, d'atteindre des phases de compostage thermophile⁴³ permettant une hygiénisation rapide des matières. Les 18 à 24 mois de compostage recommandés pour le moment ne reposent pas sur des résultats scientifiques établis. Ils ont été définis par précaution, en assumant que l'effet combiné du temps et des conditions observées dans un compost familial (pH, taux d'humidité, activité biologique, etc.) sont en mesure de pallier à l'absence de montée en température. Cette question de l'hygiénisation des sous-produits d'une toilette sèche par un compostage familial fait l'objet du volet 1 de cette étude. Un travail sur la qualité agronomique des composts obtenus sera également réalisé.

Un deuxième point est également étudié dans le cadre de ce travail : la production de liquides excédentaires par un composteur de toilettes sèches. Les aires de compostage réalisées par les utilisateurs de toilettes sèches sont en général en contact direct avec le sol, de sorte que les liquides excédentaires s'infiltreront. De fait, il n'existe pas d'information sur ces liquides, qu'il s'agisse de leur quantité ou de leur composition. La réglementation de l'Assainissement Non Collectif a intégré les toilettes sèches dans le cadre réglementaire en 2009, en exigeant des aires étanches vis-à-vis du sol. Il convient aujourd'hui de préciser si une aire non étanche peut représenter un risque sanitaire ou environnemental pour confirmer ou assouplir cette prescription réglementaire. Le deuxième volet de l'étude s'attachera ainsi à définir les caractéristiques de ces liquides (appelés lixiviats) et à les comparer avec les rejets d'autres systèmes d'assainissement autorisés.

⁴³ Dans de bonnes conditions (humidité et aération suffisantes, mélange de matières équilibré), le compostage produit une chaleur due à une activité microbienne intense. Des températures supérieures à 50 voir à 70 °C peuvent être atteintes, assurant une destruction en quelques jours des germes pathogènes.

Protocoles d'étude

L'objectif de cette étude est de **caractériser les performances sanitaires et environnementales d'une aire de compostage** de sous-produits de toilettes sèches familiales. Elle comporte deux volets :

- ➔ **le volet 1** vise à préciser les niveaux d'hygiénisation et les qualités agronomiques des composts obtenus. Pour ce volet, 6 aires de compostage familiales seront suivies sur une durée de 18 mois.
- ➔ **le volet 2** s'intéresse à la caractérisation des liquides excédentaires (lixiviats) produits par les aires de compostage individuelles. Quatre aires parmi les 6 retenues pour le volet 1 seront étanchéifiées de manière à pouvoir collecter et analyser les lixiviats qui percolent en bas des composteurs.

Ces deux volets seront réalisés par un suivi in situ d'aires de compostage installés chez des particuliers utilisateurs de toilettes sèches à litière.

Les familles retenues doivent réaliser le compostage dans des aires composées de plusieurs bacs-composteurs (généralement 3) utilisés successivement, permettant ainsi le suivi d'un « lot » de matières sans nouveaux ajouts. Les bacs doivent être clos et protégés des intempéries. Le type de litière utilisé est un mélange de sciure et de copeaux, conformément à la pratique la plus répandue. L'origine de cette litière est laissée libre (feuillus ou résineux). L'ajout de déchets de cuisine et de déchets verts n'est pas autorisé, bien que cette pratique soit relativement répandue et favorable à un bon compostage, cela afin d'éviter les biais d'analyses qu'apporteraient ces ajouts (dilution, difficulté à les caractériser correctement).

Parmi les 6 sites sélectionnés, 3 auront une gestion optimisée du compostage (brassage de la couche superficielle lors des vidanges, arrosage selon le taux d'humidité observé, retournements complets des bacs tous les 6 mois) et 3 seront gérés à minima (simple entreposage des vidanges successives). Il sera ainsi possible de préciser dans quelle mesure les modalités de gestion du compost ont un impact sur les caractéristiques des composts obtenus.

Volet 1 : qualité des composts

Ce volet est réalisé sur 6 aires de compostage installées chez des particuliers utilisateurs de toilettes à litières. Ces aires seront suivies sur une période de 18 mois comportant :

- une période de remplissage du composteur au fur et à mesure des vidanges, d'une durée de 6 mois
- une période de compostage de 12 mois sans nouveaux ajouts.

Trois types de mesures seront réalisés pendant les 18 mois de suivi des aires de compostage :

1. trois analyses ponctuelles de paramètres microbiologiques et agronomiques des matières en compostage
2. des mesures de températures au sein des composteurs
3. des mesures des masses d'intrants apportés dans les composteurs

Calendrier du volet 1

Le volet 1 se déroulera de la manière suivante :

- Novembre 2012 à fin avril 2013 : phase de remplissage des 6 composteurs
- Mai 2013 à fin avril 2014 : phase de compostage

	Nov. 12 – Avril 13	Mai 13	Nov. 13	Avril 14
Phase de traitement	← Remplissage →	←	Compostage →	
Analyses microbiologique et agronomiques	-	Prélèvements 1	Prélèvements 2	Prélèvements 3
Suivi des températures	En continu	En continu		
Mesure des intrants	En continu	En continu		

Volet 2 : caractérisation des lixiviats

Il est réalisé sur quatre aires de compostage choisies parmi les 6 aires du volet 1. Ce groupe de 4 aires comportera 2 aires avec une gestion à minima et 2 aires avec une gestion améliorée. Elles seront étanchéifiées et équipés d'un système de collecte des lixiviats.

Le suivi porte uniquement sur la phase de remplissage progressive du composteur (6 mois). En effet, cette période est a priori la plus sensible vis-à-vis de la production de liquides excédentaires (apports de liquides par les vidanges, eaux de lavage, ajout d'eau pour ajuster l'humidité du tas, début du compostage) et vis-à-vis de la composition de ces liquides (émission de composés azotés, présence éventuelle de micro-organismes pathogènes).

En conséquence, seul le composteur de remplissage sera étanchéifié.

Trois types de mesures seront réalisés pendant les 6 mois de suivi de la phase de remplissage des aires de compostage :

1. trois analyses ponctuelles de paramètres microbiologiques et physico-chimiques des lixiviats collectés
2. un suivi régulier par bandes colorimétriques du pH des lixiviats et de leurs concentrations en composés azotés
3. des mesures des masses d'intrants apportés dans les composteurs et des volumes de lixiviats collectés

Calendrier du volet 2

Le volet 2 se déroulera sur toute la durée de la phase remplissage des composteurs, de novembre 2012 à avril 2013.

	Nov. 12	Avril 13		
Phase de traitement	←	Remplissage →		
Analyses microbiologique et physico-chimiques	Prélèvement 1	Prélèvement 2	Prélèvement 3	
Suivi par bandes colorimétriques	En continu			
Mesure des intrants et volumes de lixiviats	En continu			

Implication et accompagnement des sites suivis

Le rôle des utilisateurs dans la réalisation de cette étude est tout à fait significatif puisqu'ils ont la double responsabilité (i) de respecter les modalités d'utilisation de la toilette et de gestion des aires de compostage préétablies et (ii) de participer activement à la collecte des données. Cette responsabilité incombe à l'ensemble des utilisateurs réguliers de la toilette, et plus particulièrement à une personne ou à un petit groupe de personnes qui seront en charge de la collecte des données et des échanges avec Toilettes Du Monde.

La motivation des utilisateurs sera donc un élément essentiel dans le choix des sites retenus. Ce document a pour objectif de rassembler toutes les informations dont ils auront besoin pour permettre un bon déroulement de l'étude et une collecte de données fiable. Une information individualisée sera réalisée en complément, lors d'une rencontre sur le site de compostage.

Chacun des sites suivis sera accompagné par une structure du Réseau de l'Assainissement Ecologique (RAE) située dans le même secteur géographique. Ces structures sont à disposition des sites suivis pour toute question relative à la conduite de l'étude (respect des protocoles expérimentaux, collecte des données, etc.). Les structures du RAE se chargent de faire remonter à TDM toute question nécessitant une validation de TDM.

Le contact à TDM est Florent BRUN – 04 75 26 29 98 – florent.brun@toilettesdumonde.org

Respect des protocoles expérimentaux

Les points ci-dessous doivent être lus ou expliqués précisément à tous les utilisateurs réguliers de la toilette. Il est recommandé de les afficher dans les toilettes pour avertir les utilisateurs occasionnels de la participation du foyer à une étude scientifique rigoureuse.

Au niveau de la toilette sèche

- La toilette sèche utilisée doit être une toilette à litière avec un réceptacle de faible taille (de 15 à 50 voir 100 litres). La vidange doit avoir lieu fréquemment et au moins une fois par semaine. Les systèmes à séparation des urines ne sont pas autorisés.
- La toilette sèche doit être utilisée pour l'ensemble des besoins naturels (urine et matière fécale). Eviter autant que possible d'uriner directement au jardin.
- Le papier hygiénique usagé doit être mis dans la toilette sèche.
- Aucun autre intrant ne doit être ajouté dans la toilette.
- Une litière à base de matière carbonée doit être vidée dans le réceptacle après chaque utilisation. Le volume de litière carbonée utilisé est laissé libre.
- La litière carbonée devra être constituée d'un mélange à base de sciure et de copeaux de bois. L'utilisation d'une litière constituée exclusivement d'éléments grossiers (broyat, copeaux sans sciures, etc.) n'est pas autorisée. La litière sera de préférence sèche.

Au niveau des composteurs

- Les composteurs doivent être protégés des intempéries par un système solide et facile à manipuler s'il doit être enlevé/soulevé pendant les vidanges, de sorte qu'il soit toujours en place.
- Les composteurs doivent limiter l'accès des animaux sauvages et domestiques aux matières en compostage : parois avec planches jointives, etc.

- Seules les vidanges de toilettes sèches et les matériaux couvrants (voir ci-dessous) doivent être ajoutés dans les composteurs. Les déchets organiques ménagers (déchets de cuisines) et les déchets verts ne sont pas autorisés.
- Après chaque vidange, les matières vidangées sont recouvertes d'une couche de matériaux couvrants carbonés.
- Les matériaux couvrant autorisés sont : tonte de gazon fraîche ou sèche, paille, broyat, mauvaises herbes et autres plantes non ligneuses fraîches ou sèches. Les rameaux ligneux non broyés sont à éviter, ceci pour faciliter les opérations de prélèvements d'échantillons.
- La gestion des matières en compostage doit être réalisée tout au long de l'étude conformément à l'une des deux modalités ci-dessous, choisie au préalable avec Toilettes Du Monde :

Modalité 1 : gestion a minima

- Les vidanges sont faites par les utilisateurs réguliers de la toilette.
- Les vidanges sont faites en versant le contenant du réceptacle à la surface des matières en compostage, à un emplacement laissé libre à la personne assurant la vidange
- Il est possible mais non exigé d'écarter au préalable les matériaux couvrant déjà présents dans le composteur.
- Après la vidange, le seau est nettoyé à l'eau claire à l'aide d'une brosse.
- L'eau de nettoyage est ensuite reversée dans le composteur.
- Les matières vidangées sont recouvertes d'une couche de matériaux carbonés couvrants.
- Un composteur est utilisé pour les vidanges pendant 6 mois.

Modalité 2 : gestion optimisée

- Les vidanges sont faites, dans la mesure du possible, par le ou les utilisateurs plus particulièrement en charge du projet.
- Les vidanges sont faites de la manière suivante :
 - 1/ Réaliser à l'aide d'une fourche une ouverture dans les matières couvrantes déjà présentes dans le composteur ainsi que dans les premiers centimètres de sous-produits de toilettes sèches en décomposition, afin de créer un creux suffisant pour y verser les matières fraîches. A cette occasion, vérifier le taux d'humidité des matières en compostage.
 - 2/ Faire la vidange dans cet espace libre puis brasser légèrement les matières fraîches avec celles plus anciennes.
- Après la vidange, le seau est nettoyé à l'eau claire à l'aide d'une brosse.
- L'eau de nettoyage est ensuite reversée dans le composteur.
- Les matières vidangées sont recouvertes d'une couche de matériaux carbonés couvrants.
- Un bâton ou un autre repère visuel est planté à l'endroit de la vidange pour permettre de répartir les sous-produits sur toute la surface du composteur au fur et à mesure des vidanges.
- Si besoin arroser le compost pour ajuster son taux d'humidité.
- Un composteur est utilisé pour les vidanges pendant 6 mois.
- Environ une semaine après la dernière vidange, l'ensemble des matières sont brassées à l'occasion du premier prélèvement de compost. A cette occasion, les matières sont arrosées au fur et à mesure de la constitution du nouveau tas, en fonction du taux d'humidité observé. Cette opération est réalisée par les structures du RAE en charge de l'accompagnement des sites.

Participation à la collecte des données

Le ou les utilisateurs plus particulièrement en charge du projet participent activement à la collecte des données pour les deux volets de l'étude :

- Ils apportent des informations sur les conditions d'utilisation de la toilette avant le lancement de l'étude.
- Pour le volet 1, ils mesurent
 - les masses d'intrants apportés dans les composteurs
 - les températures dans les composteurs.
- Pour le volet 2, ils mesurent :
 - les volumes de lixiviats collectés,
 - le pH et les concentrations en azote à l'aide de bandelettes colorimétriques
 - les masses d'intrants apportées dans les composteurs (idem volet 1).
- Ils notent également des informations complémentaires tout au long de l'étude.

Informations préalables

Lors d'une première visite des sites, une interview permettra de caractériser le site, les utilisateurs et l'usage habituel de la toilette.

Suivi de l'utilisation de la toilette sèche

Un calendrier permettant d'estimer l'utilisation de la toilette est fourni aux utilisateurs. Il est rempli aussi souvent que possible et au moins une fois par semaine.

Mesure des masses intrants

Les mesures des masses d'intrants solides et liquides sont réalisées à chaque vidange et opération de maintenance : vidanges de toilettes sèches, eau de lavage, arrosage supplémentaire.

Une estimation des quantités de litière carbonée ajoutées au niveau de la toilette (après chaque utilisation de la toilette) et des quantités de matières couvrantes ajoutée au niveau de l'aire de compostage (après les vidanges) est également réalisée, notamment en mesurant les masses stockées au moment des approvisionnements.

Des fiches de relevés sont fournies aux utilisateurs à cet effet.

Mesure des températures dans les composteurs

La température des matières en compostage est mesurée à l'aide d'un thermomètre à compost à 3 points distincts dans les composteurs :

- point 1 : à 15 cm du fond et au centre du composteur
- point 2 : à 50 cm du fond et au centre du composteur
- point 3 : à 50 cm du fond et à 10 cm du bord du composteur

Ces mesures de températures sont réalisées aussi souvent que possible et au moins deux fois par semaine. Le thermomètre à compost est fourni par TDM.

Suivi des caractéristiques des lixiviats

Le volume de lixiviats collecté est mesuré aussi souvent que possible. A minima, une mesure hebdomadaire est demandée.

Un suivi de quelques paramètres des lixiviats collectés est réalisé à l'aide de bandelettes colorimétriques : pH, nitrites, nitrates, ammonium. Ces mesures seront réalisées une fois par semaine, avant une opération de vidange du bidon de lixiviats.

Tout le matériel nécessaire à ces mesures ainsi que des fiches de relevés sont fournies aux utilisateurs à cet effet. L'annexe 1 présente la méthode à suivre pour l'utilisation des bandelettes colorimétriques.

Les lixiviats sont ensuite évacués dans le système de traitement des eaux usées de l'habitation. Il est interdit de les reverser dans le composteur. Une valorisation des lixiviats au jardin est possible si les utilisateurs le souhaitent et après avoir pris conseil auprès de TDM.

Autres informations

Tout événement particulier (mauvais usage, changement de type de litière, etc.) doit être relevé et noté sur les fiches de relevé.

Méthodologie pour la collecte des données

Le ou les utilisateurs plus particulièrement en charge du projet s'organisent pour assurer de manière autonome la collecte des données. Les structures du RAE en charge de l'accompagnement des sites les solliciteront régulièrement, en particulier lors des premiers mois suivant le lancement de l'étude, pour vérifier que la collecte se passe bien et apporter toute précision et aide nécessaire. En cas de doute, merci de contacter rapidement votre structure référente.

Les données à collecter sont rassemblées en 5 grands ensembles d'informations :

- la fréquentation de la toilette
- les intrants apportés dans le composteur au moment des vidanges (vidange de la toilette, apports d'eau de nettoyage, apports d'eau d'arrosage), à l'exclusion des apports en litière carbonée et en matières couvrantes (voir point suivant)
- les apports en litière carbonée au niveau de la toilette et en matières couvrantes au niveau de l'aire de compostage
- la température dans les composteurs
- les caractéristiques des lixiviats collectés

Feuilles de relevés papier

Deux feuilles de relevés (en plusieurs exemplaires papiers) ainsi qu'un calendrier sont fournis aux utilisateurs pour permettre une saisie simple des informations :

- La première feuille de relevés rassemble les trois grands ensembles de données qui sont collectés lors des interventions/vidanges au niveau de l'aire de compostage :
 - intrants apportés dans le composteur,
 - températures dans les composteurs
 - caractéristiques des lixiviats (ne concerne que les 4 sites équipés d'une aire étanche).

Elle doit être remplie à chaque opération de vidange.

- La deuxième feuille concerne les apports en litière carbonée et en matières couvrantes. Elle est remplie lors des opérations d'approvisionnement : récupération de copeaux/sciure dans une entreprise, production de matériaux couvrant au jardin (tonte de gazon, broyat, etc.).
- Le calendrier sert à suivre l'utilisation de la toilette, de la façon la plus précise possible. Il est donc conseillé de le remplir lors des opérations de vidange, au même moment qu'est remplie la première feuille de relevés, pour ne pas oublier de faire ce petit travail de mémoire supplémentaire.

Tableur informatique

Un tableur informatique est également fourni aux utilisateurs pour qu'ils puissent saisir eux-mêmes les données en format informatique au fur et à mesure de leur collecte, assurant ainsi une précieuse sauvegarde. Cette saisie informatique doit être réalisée si possible après chaque relevé et au moins une fois par mois. Les feuilles de relevés papier ainsi que le calendrier doivent être conservés et transmis à Toilettes Du Monde afin qu'une vérification de l'ensemble des données saisies sur le tableur informatique puisse être réalisée.

Le tableur comprend 6 feuilles de calcul :

- la première s'intitule « Calendrier de fréquentation ». C'est la version informatique du calendrier papier laissé aux utilisateurs.
- la deuxième s'intitule « Vidanges ». Elle permet de renseigner les informations obtenues lors des opérations de vidanges : masse du seau avant et après la vidange, volume d'eau ajouté (eau de rinçage du seau et eau d'arrosage).
- la troisième s'intitule « Température ». Elle sert à noter les températures mesurées dans les composteurs.
- la quatrième s'intitule « Lixiviats ». Elle permet de renseigner les caractéristiques des lixiviats obtenus lors des opérations de collecte (pH, mesures chimiques par bandelettes, masse). Elle ne concerne donc que les 4 sites équipés d'une aire étanche.
- la cinquième feuille s'intitule « Litières ». C'est la version informatique de la feuille de relevés à utiliser pour préciser les quantités de litière carbonée et de matériaux couvrants utilisés (dans la toilette et au niveau de l'aire de compostage), sur une période donnée.
- la dernière s'intitule « Feuille de relevés ». C'est la version informatique de la feuille de relevés à utiliser lors des opérations de vidange pour noter les données concernant (i) les intrants dans le composteur, (ii) la température dans les composteurs et (iii) les caractéristiques des lixiviats. Elle peut ainsi être réimprimée si nécessaire.

Lors de la saisie informatique des données relevées sur papier, seule cette dernière feuille de calcul « Feuilles de relevés » n'a pas besoin d'être remplie. Toutes les autres doivent être renseignées.

Matériel nécessaire pour la collecte des données

1/ Un pèse personne et une balance de cuisine pour réaliser les différentes pesées :

- le pèse personne sert à peser les masses de litières carbonées récupérées lors des approvisionnements. Il servira également à peser les masses des contenants de la toilette (seaux) au moment des vidanges, avec pesée préalable du contenant.
- la balance de cuisine sert à peser les masses de lixiviats collectés. Si la masse collectée dépasse le poids maximal supporté par votre balance, procéder en plusieurs pesées successives.

La précision des balances utilisées doit être vérifiée au préalable. Des balances neuves peuvent être fournies si-besoin.

2/ Un thermomètre à compost fourni par TDM et un thermomètre standard pour mesurer la température extérieure

3/ Un kit pour les mesures par bandelettes colorimétrique, fourni par Toilettes Du Monde (voir annexe 1).

Annexe 1 : procédure pour les analyses de lixiviats par bandelettes colorimétriques

Les paramètres suivis par bandelettes colorimétriques sont :

- le pH
- différentes formes de l'azote :
 - les nitrites NO_2^-
 - les nitrates NO_3^-
 - l'ammonium NH_4^+

Matériel fournit :

- 1 rouleau de papier pH 1-14
- 1 kit de bandelettes nitrites/nitrates (un tube avec les bandelettes)
- 1 kit de bandelettes ammonium (un tube avec les bandelettes, un petit bécher de 5 ml, un réactif)
- 1 bécher de 50 ml
- 1 bécher de 500 ml
- 1 bécher de 1000 ml
- 1 seringue de 60 ml

**Avant les mesures par bandelettes,
le poids total du bidon est mesuré et noté sur les fiches de relevés !**

1 – Mesure du pH

- Un volume supérieur à 50 ml de lixiviats est versé dans le bécher de 500 ml.
- A l'aide du bécher de 500 ml, 50 ml sont versés dans le bécher de 50 ml.
- Un morceau de quelques centimètres de papier pH est découpé puis plongé dans le bécher de 50 ml.
- Le niveau de pH est lu directement à l'aide de l'échelle de couleur.

2 – Mesure des nitrites et nitrates

- Il convient de vérifier, avant le lancement de l'étude, que l'eau du réseau ne contient pas de nitrates en quantités significatives. Cette information sera obtenue auprès du distributeur d'eau potable par TDM. Si l'eau du réseau contient des nitrates en quantité significative, une autre source fiable d'eau de dilution sera utilisée.

- Les 50 ml de lixiviats contenus dans le bécher de 500 ml sont versés dans le bécher de 1000 ml. De l'eau du réseau est utilisée pour compléter le bécher jusqu'à 1000 ml (dilution par 20). Le tout est homogénéisé à l'aide d'une cuillère.
- **Suivre la procédure notée sur le tube contenant les bandelettes :**
 - Une bandelette nitrites nitrates est plongée dans la solution diluée pendant 1 seconde.
 - Eliminer l'excédant de liquide en secouant la bandelette.
 - Attendre 60 secondes
 - Comparer la couleur des 2 zones test avec les échelles colorimétriques.
 - Tout le matériel utilisé est rincé à l'eau et séché avant d'être remis avec le kit de bandelettes

3 – Mesure de l'ammonium

- Utiliser la solution de lixiviats diluée.
- **Suivre la procédure notée sur le tube contenant les bandelettes ammonium :**
 - 5 ml de la solution diluée de lixiviats est versée dans le petit bécher de 5ml fournit avec le kit.
 - 10 gouttes du réactif sont ajoutées aux 5 ml.
 - Agiter l'échantillon avec précaution.
 - Une bandelette ammonium est plongée dans la solution diluée pendant 5 secondes.
 - Eliminer l'excédant de liquide en secouant la bandelette.
 - Comparer la couleur de la zone test avec l'échelle colorimétrique.
 - Tout le matériel utilisé est rincé à l'eau et séché avant d'être remis dans le kit de bandelettes.

4 – Modification du taux de dilution

Au cours de l'étude, il est possible que la composition des lixiviats évolue de sorte qu'il soit nécessaire de modifier à la hausse et/ou à la baisse le taux de dilution fixée dans cette fiche. La seringue 60 ml pourra être utilisée à cet effet. **Toute modification du taux de dilution doit être validée au préalable par TDM.**

Annexe 4 : Guide de recommandations pour l'étude aux structures chargées de suivi



Gestion des sous-produits de toilettes sèches familiales,

Etude sur le traitement des matières par compostage

**Missions des personnes
chargées du suivi des sites**

Octobre 2012

Missions des personnes chargées du suivi des sites

Les personnes en charge du suivi des sites réalisent les missions suivantes :

- Identification des sites suivis
- Modification des aires de compostage
- Accompagnement des familles partenaires
- Réalisation des prélèvements et expédition des échantillons
- Echanges avec TDM tout au long de l'étude

Identification des sites suivis

Les personnes en charge du suivi des sites établissent le contact avec les familles intéressées par le projet et vérifient que leur situation (nombre d'habitants, type de toilette utilisée, gestion du compost) corresponde aux exigences de l'étude. La validation des sites retenus est faite par Toilettes Du Monde.

Toilettes Du Monde réalise un contact direct avec chaque famille identifiée pour :

- apporter toutes les précisions nécessaires,
- valider leur participation à l'étude,
- définir, en lien les familles, leur appartenance aux différents types de sites (aire étanches ou non, gestion à minima ou optimisée)

Modification des aires de compostage

Les personnes en charge du suivi des sites réalisent, avec les familles partenaires, les modifications nécessaires des aires de compostage. Il pourra s'agir de modifications légères (installation d'une protection contre la pluie, installations de grillages pour la fixation des thermoboutons, etc.) ou plus lourdes nécessitant la création d'une nouvelle aire (aires étanches en particulier). Le coût du matériel nécessaire à ces modifications est pris en charge par TDM, sur présentation de factures.

Les prescriptions techniques et conseils pour la réalisation des ces travaux sont rassemblées dans le document « Réalisation des aires étanches » (cf. Annexe 2).

Accompagnement des familles partenaires

Cet accompagnement comprend une aide à la prise en main des méthodes et outils de relevés des données (mesure des intrants, fréquentation de la toilette, suivi des lixiviats, etc.) et des modalités de gestion des aires de compostage.

Cet accompagnement est donc particulièrement important dans les premières semaines suivant le lancement de l'étude. Sur toute la durée de l'étude (18 mois), les personnes en charge du suivi prennent des nouvelles régulières (au moins une fois par trimestre) auprès des familles partenaires.

Les personnes en charge du suivi des sites vérifient que les familles disposent de tout le matériel nécessaire au relevé des données (balances, feuilles de relevés, etc.). Si besoin, elles fournissent le matériel manquant dont le coût sera pris en charge par Toilettes Du Monde, sur présentation de factures. Le matériel nécessaire au suivi des lixiviats (bandelettes colorimétriques, bécher, etc.) est fourni par Toilettes Du Monde.

Réalisation des prélèvements et expédition des échantillons

Les personnes en charge du suivi des sites réalisent les prélèvements de compost et de lixiviats et expédient les échantillons au laboratoire d'analyse.

Prélèvements de compost

Les échantillons de compost sont prélevés 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. Au préalable un criblage du tas final est réalisé avec un tamis à mailles fines (1 à 2 cm).

Les opérations sont réalisées avec des outils (fourche, pelle, etc.) qui auront été lavés au préalable à l'eau savonneuse. Les manipulations du compost sont réalisées sur une bâche propre.

Pour les aires avec une gestion à minima, seule une partie (sur trois) du composteur est vidée lors d'une opération de prélèvement. Les matières ne doivent pas être remises dans le composteur après la manipulation. Une protection (bâche, carton, etc.) doit être fixée contre les parties restantes mises à l'aire libre pour éviter leur dessèchement.

Les échantillons de compost sont conditionnés dans des sacs plastiques épais, neufs, et provenant de rouleaux de sacs neufs

- Lors de chacune des 2 premières campagnes de prélèvements, **deux échantillons** de 1 litre de compost sont prélevés par aire de compostage : ils seront utilisés pour les analyses microbiologiques (duplicas).
- Lors de 3^{ème} campagne de prélèvements, **trois échantillons** de 1 litre de compost sont prélevés par aire de compostage : 2 seront utilisés pour les analyses microbiologiques (duplicas) et le 3^{ème} pour les analyses agronomiques.

Chaque sac est identifié par une étiquette solidement attachée comprenant les informations suivantes :

- Code d'identification du prélèvement
- Date de prélèvement
- Type d'analyses à faire par le laboratoire : microbiologiques (à noter sur 2 sacs) ou agronomiques (à noter sur 3^{ème} sac prélevé lors de la 3^{ème} campagne d'analyses).

Les modalités d'étiquetage des prélèvements sont précisés en annexe 5.

Prélèvements de lixiviats

Les échantillons de lixiviats sont collectés dans le bidon utilisé au niveau de l'aire de compostage en respectant la procédure suivante :

- peser le bidon de lixiviats et noter la valeur dans les fiches de suivi
- réaliser les tests bandelettes et noter les résultats dans les fiches de suivi
- remuer doucement le bidon pour remettre en suspension et homogénéiser les matières déposées au fond
- réaliser les deux prélèvements de 500 ml
- Evacuer ensuite les lixiviats dans le système de traitement des eaux usées de l'habitation. Il est interdit de les reverser dans le composteur. Une valorisation des lixiviats au jardin est possible si les utilisateurs le souhaite et après avoir pris conseil auprès de TDM.

Les prélèvements sont conditionnés dans des flacons neufs fournis par TDM.

Lors de chacune des 3 campagnes de prélèvements, deux échantillons de 1 litre de lixiviats sont prélevés par aire de compostage : 1 sera utilisé pour les analyses microbiologiques et le 2^{ème} pour les analyses agronomiques.

Chaque flacon est identifié par une étiquette solidement attachée comprenant les informations suivantes :

- Nom de la famille suivi
- Date de prélèvement
- Type d'analyses à faire par le laboratoire : microbiologiques (à noter sur le premier flacon) ou physico-chimiques (à noter sur le deuxième flacon)

Expédition des échantillons

Afin que le laboratoire puisse réaliser les analyses sans délais d'attente, les échantillons doivent être envoyés au laboratoire en début de semaine. Les prélèvements seront donc réalisés le lundi matin, puis expédiés par colis rapide le lundi en milieu de journée de sorte qu'ils arrivent au laboratoire d'analyse le mardi matin. **Tout autre calendrier de prélèvement et d'expédition doit être au préalable validé par Toilettes Du Monde.**

Les échantillons sont conservés au frais à l'aide de plaques eutectiques (blocs congélation). Deux plaques, de taille similaire aux échantillons sont placées sur et sous les échantillons. L'ensemble est ensuite emballé dans un carton et expédié en moins de 24 heures à l'adresse suivante :

ISAE 35

Service Agro Alimentaire

CS 30616 - JAVENE

35306 FOUGERES Cedex

Tel : 02 99 02 43 43 (à noter sur le bordereau d'envoi du colis, en cas de difficultés lors de la livraison)

Un courrier d'accompagnement du colis est également joint à l'envoi, spécifiant le projet, les analyses à faire et la personne contact à l'ISAE 35. Les modèles de courriers sont rassemblés dans l'annexe 3 ci-après.

Les coûts d'emballage (donc plaques eutectiques) et d'expédition sont pris en charge par TDM sur présentation de factures. Une synthèse des analyses réalisées tout au long de l'étude est reprise en annexe 4.

Échanges avec Toilettes Du Monde

Tout au long de l'étude, Toilettes Du Monde se charge de rappeler aux personnes en charge du suivi des sites les principales échéances à respecter et notamment les dates de prélèvements (voir planning général de l'étude en Annexe 1). Les personnes en charge du suivi fixent ensuite les dates exactes de prélèvements, en lien avec les familles partenaires. Une souplesse de 4 jours (avant ou après la date fixée) est laissée entre la date fixée par TDM et la date réelle du prélèvement.

Les personnes en charge du suivi des sites font remonter le plus rapidement possible à Toilettes Du Monde toute information importante concernant le déroulement de l'étude (dysfonctionnement ou problème rencontré dans le suivi des sites, modification dans l'usage de la toilette, etc.). D'une manière générale, elles informent régulièrement TDM du déroulement de l'étude.

ANNEXE 1 : Planning général de l'étude

Légende : PL : prélèvement de lixiviats pour analyse en laboratoire
 PC : prélèvement de compost pour analyse en laboratoire
 R : retournement du compost

Étanchéité		Étanche	Étanche	Non étanche	Non étanche	Analyses en laboratoire
Gestion		A minima	Optimisée	A minima	Optimisée	
Nombre d'aires		2	2	1	1	
Remplissage (6 mois, de nov. 2012 à mai 2013)	Nov.					
	Déc.	PL1	PL1			Physico-chimiques + microbiologiques
	Janv.					
	Fév.	PL2	PL2			Physico-chimiques + microbiologiques
	Mars					
	Avr.	PL3	PL3			Physico-chimiques + microbiologiques
Compostage (12 mois, de mai 2013 à mai 2014)	Mai	PC1	R1+PC1	PC1	R1+PC1	Microbiologiques
	Juin					
	Juil.					
	Août					
	Sept.					
	Oct.					
	Nov.	PC2	R2+PC2	PC2	R2+PC2	Microbiologiques
	Dec.					
	Janv.					
	Fév.					
	Mars					
	Avr.					
	Mai	PC3	R3+PC3	PC3	R3+PC3	Microbiologiques + agronomiques

ANNEXE 2 : Réalisation des aires de compostage

Etude sur la gestion des
sous produits de toilettes
sèches familiales

Réalisation des
aires de
compostage

Octobre 2012



Dimensionnement et conception

La taille des composteurs doit être suffisante pour permettre 6 mois de vidanges. Un volume de 1 mètre cube est recommandé. Il peut être revu à la hausse ou à la baisse si vous avez une connaissance plus précise du volume nécessaire, au vu de l'expérience des familles partenaires.

Les composteurs peuvent être cubiques (1m x 1m x 1m) ou de forme rectangulaire. Pour les sites avec une gestion à minima, une forme rectangulaire est conseillée (voir étape 7 ci-après) : 0,8m x 1,2m x 1m (l x L x h)

La forme exacte du composteur peut également dépendre des matériaux disponibles. Par exemple, si vous utilisez une tôle ondulée de 1m de large pour la protection contre la pluie, il est préférable que la largeur du composteur soit inférieure (0,8m) pour assurer une bonne protection.

Dimensionnement et conception – aires non étanches

Les conseils pour la réalisation présentés ci-après et notamment les étapes 1 à 4 concernent plus particulièrement les aires étanches.

Aires non étanches : la réalisation des aires non étanches est beaucoup plus simple puisqu'elles ne comportent pas de système de collecte des liquides. Les points suivants doivent tout de même être réalisés avec attention :

- Parois latérales étanches (cf. étape 3). Une étanchéité totale des parois n'est pas recherchée mais l'expérience montre que des parois trop ajourées favorisent un dessèchement du compost.
- Protection contre la pluie (cf. étape 5),
- Accès au compost (pour les prélèvements) et installation des thermoboutons (étapes 6 et 7)

Etape 1



Etape 1

Terrassement pour avoir un sol bien plat avec une légère pente, vers la **gouttière de collecte**

Créer des **drains** pour évacuer les eaux de ruissellement qui ne doivent pas rentrer dans le composteur

Attention à la question de la position relative entre :

- l'accès au composteur pour les vidanges
- la gouttière de collecte
- l'évacuation des eaux pluviales du toit

- Il ne faut pas que la gouttière soit située au niveau de l'accès pour les vidanges car on risquerait de la déplacer, l'abimer ou faire rentrer des indésirables dedans
- Il ne faut pas non plus que la pente du toit aille du côté de la gouttière (sauf si précautions particulières)



Etape 2



Etape 2

Installer le **regard de collecte** et la gouttière avec une légère pente vers le regard. Dans le regard, installer un **bidon de collecte** muni d'un entonnoir et d'une grille d'évier. Dans le regard ci-dessous, il n'y avait pas de modèle avec les ouvertures pour les tuyaux (en bleu) + pas de fond (une réhausse) + couvercle. J'ai donc percé à la disqueuse une ouverture au fond du regard pour pouvoir mettre le bidon. Le regard repose sur deux liteaux de bois, avec un trou dessous pour permettre au bidon d'être suffisamment bas par rapport à l'arrivée de la gouttière.

Cette étape peut être réalisée avant l'étape 1 car **c'est la hauteur de la gouttière qui détermine le niveau du terrassement.**

Eviter d'avoir une gouttière enterrée dans le sol. Il est préférable qu'elle soit posée sur le sol pour éviter toute entrée d'eau et d'autres matériaux indésirables dans la gouttière.

Bref, **attention à cette question des niveaux** entre le regard de collecte, la gouttière et le terrassement sur lequel viendra l'aire étanche.

Volume du bidon : 10 litres. Un bidon de 5 litres risque de déborder s'il n'est pas vidé à chaque opération de vidange de la toilette et si le seau de la toilette est de gros volume (> 20 litres)



Etape 3



Etape 3

Installer la **tôle ondulée** au fond du composteur (sur la photo la couche de gravier drainant est déjà là).

La tôle ondulée est très pratique. J'ai relevé les **deux bord latéraux** sur 5 cm avec des pinces pour éviter tout apport d'eaux parasites (ne se voit pas sur la photo car la bâche est déjà posée).

J'ai utilisé une **planche fine** pour le côté avec la gouttière de collecte et des palettes pour les trois autres côtés. Les côtés avec de la palette ont été recouverts avec de la **bâche**. Cette mesure vise à optimiser la collecte des liquides et de conserver l'humidité du compost.

Il est finalement retenu de n'installer une bâche que sur les 15 cm en bas de parois verticales. Le reste doit être réalisé en planches jointives ou presque, permettant ainsi des apports d'air dans le composteur.



Etape 4



Etape 4

La paroi du composteur côté gouttière affleure sur **les ondes de la tôle ondulée**. Des **grosses pierres plates** bien choisies sont positionnées dans les creux d'ondes pour ne pas que les graviers de la couche drainante ne tombent à travers ses ouvertures. Ensuite, **les graviers sont lavés** (plein de poussière) puis répartis sur la tôle ondulée. **Utiliser des graviers non calcaires.**

La gouttière est l'élément le plus important. Elle doit être bien installée mais avec un **accès facile** pour pouvoir la nettoyer si besoin, voir la changer ou la modifier. Il y a donc un double intérêt à **ne pas l'enterrer** : éviter les apports extérieurs indésirables et faciliter l'accès. Bien penser à fermer **l'extrémité « haute »** de la gouttière.



Etape 4 (suite)

La protection de la gouttière contre les éléments extérieurs (pluie, terre, limaces, etc.) est très importante.

J'ai réalisée une double protection :

- d'abord un morceau de **tôle ondulée** (une chute de découpe) vient se poser dessus
- ensuite, une **bâche un peu rigide** (gros EPDM), vient se plaquer dessus. Celle-ci maintient la tôle sur la gouttière et assure une bonne étanchéité

Creuser une **rigole** pour évacuer les eaux de ruissellement



Etape 5



Etape 5

Faire une **protection contre la pluie** qui soit bien fixée. J'en ai fait une avec des **charnières** pour être sûr qu'elle soit toujours en place. Un système avec une tôle qu'on enlève et qu'on remet pourrait entraîner des oublis et donc des apports d'eau pluviales non voulus.

La toiture doit être un peu plus longue est plus large que le composteur.



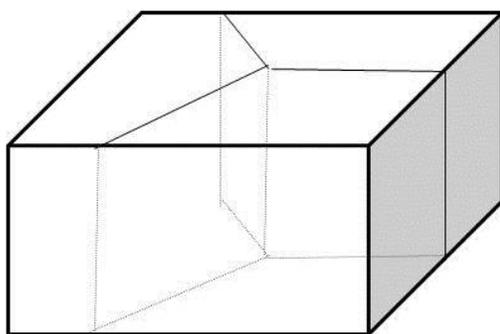
Etape 6

➤ Conception de l'aire selon le type de gestion du compost :

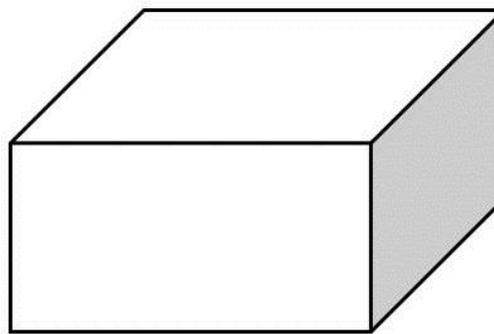
« A minima » vs « Optimisée »

Etape 6

A la différence des aires avec une gestion optimisées, les aires avec une gestion à **minima** n'auront pas de retournement du compost. Pour que les 3 opérations d'échantillonnage n'entraînent pas un retournement non souhaité de l'ensemble des matières, le composteur devra être séparé en 3 parties égales. Une seule partie sera vidée au moment d'un échantillonnage, les autres restant en place.



Composteur des sites avec **gestion à minima**, séparé en 3 compartiments égaux



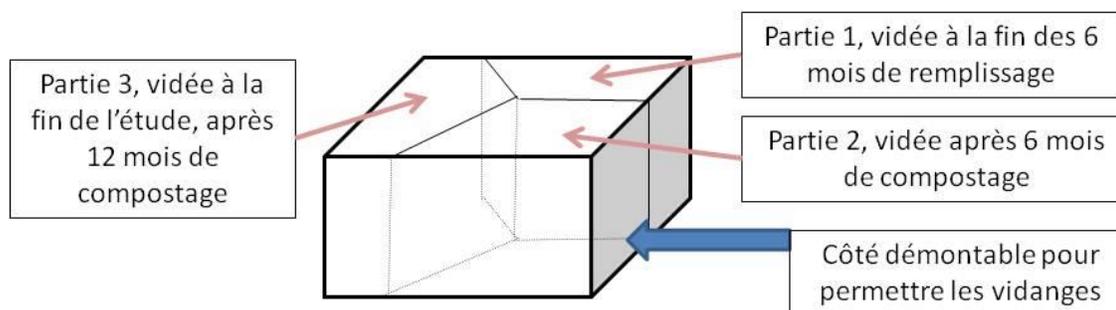
Composteur des sites avec **gestion optimisée**, sans séparation

Etape 6

Ces cloisons seront réalisées en **grillage fin**. Utiliser de préférence du treillis soudé à petite maille (maille de 5 cm – pour travaux de carrelage) : bien plat (à l'inverse des rouleaux de grillage) et pratique pour la fixation des thermoboutons (voir plus loin).

Lors des opérations d'échantillonnage, une seule partie sera vidée intégralement. Il est donc nécessaire de prévoir un **accès facile** pour cette opération de vidange. Un des côtés du composteur devra donc pouvoir être démonté pour accéder aux deux premières parties. On accèdera enfin à la 3^{ème} partie, lors de la vidange finale (après 12 mois de compostage) en démontant les deux cloisons en grillage.

Après la vidange d'une partie de composteur, **une protection** (bâche, carton, etc.) doit être fixée contre les parties restantes mises à l'aire libre pour éviter leur dessèchement.



Etape 7

➤ Installation d'un grillage pour faciliter la fixation des thermoboutons

Etape 7

Le suivi des températures à l'intérieur des composteurs sera réalisé de 2 manières :

- À l'aide de thermoboutons insérés dans les matières en compostage et laissés en place pendant toute la durée de l'étude
- A l'aide de thermomètres à compost utilisés en complément

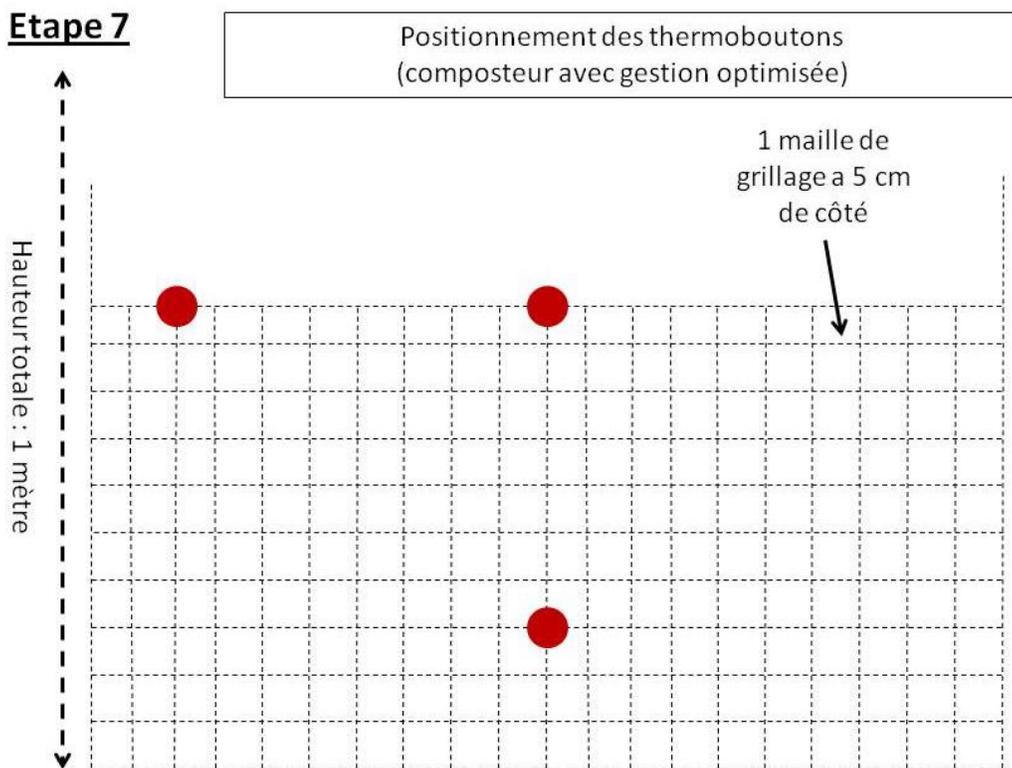
3 thermoboutons seront placés dans chaque lot de compost suivi.

- Pour les composteurs gérés « à minima », séparés en 3 parties suivis séparément, 3 thermoboutons seront insérés dans chaque partie du composteur, soit un total de 9 thermoboutons par composteur
- Pour les sites à gestion « optimisée », 3 thermoboutons seront utilisés pour l'ensemble du composteur

Les 3 thermoboutons sont répartis de la manière suivante :

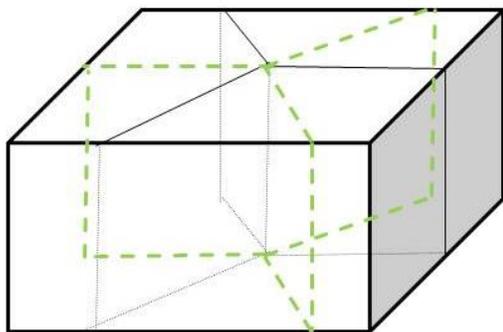
- 1 au centre du composteur, en partie basse (à 15 cm du fond du composteur)
- 1 au centre du composteur, à la moitié de sa hauteur (50 cm)
- 1 au bord du composteur (10 cm du bord extérieur), à la moitié de la hauteur (50 cm)

Les thermoboutons sont fixés sur un grillage métallique de type treillis soudé (maille de 5 cm)

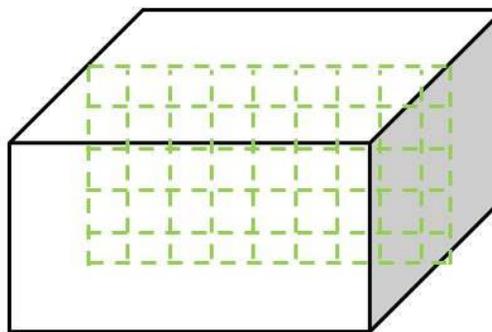


Etape 7

- Les aires avec une gestion à minima auront donc 3 grillages de fixation des thermoboutons (une pour chacune des 3 parties du composteur).
- Les aires avec une gestion optimisée auront un seul grillage de fixation des thermoboutons



Situation des grillages de fixation (cadrillage non représenté) pour les composteurs des sites avec gestion à minima

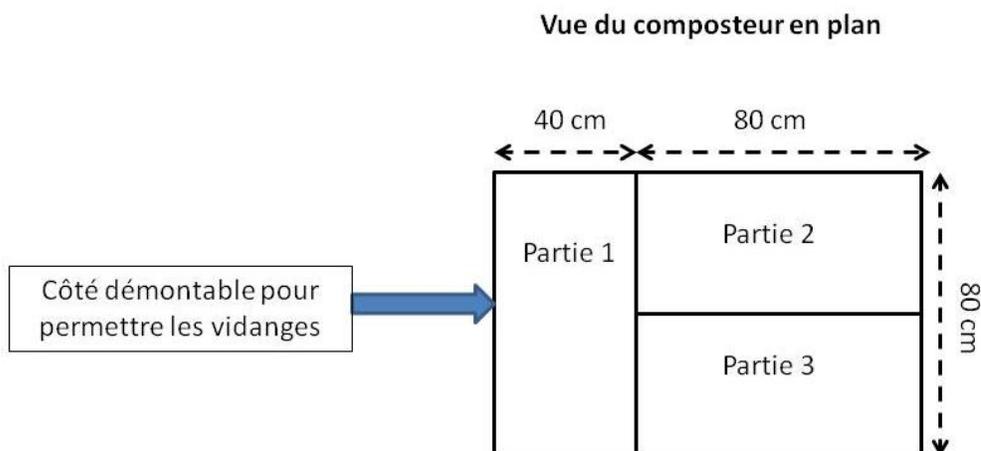


Situation des grillages de fixation (cadrillage représenté) pour les composteur des sites avec gestion optimisée

Etape 7

• Plan alternatif pour les aires avec une gestion à minima

Pour faciliter d'une part l'installation des grillages supportant les thermoboutons, et d'autre part les opérations de vidanges, il est proposé une conception différente pour les aires avec une gestion à minima



Etape 7

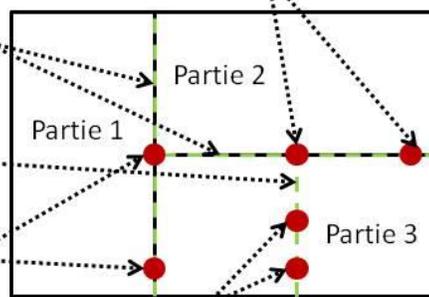
• Plan alternatif pour les aires avec une gestion à minima

- Pour les parties 1 et 2, les thermoboutons sont installés sur le grillage séparant les 3 parties du composteur.
- Pour la partie 3, une grille supplémentaire doit être rajoutée au centre de la partie car après la vidange des deux premières parties, les grillages séparant chaque partie ne seront plus « noyés » dans du compost comme c'était le cas lors des deux premières vidanges.

Synthèse :

- **Grillages** assurant à la fois la séparation entre parties du composteur et la fixation des thermoboutons utilisés pour la partie 1 et 2
- **Grillage rajouté** pour la fixation des thermoboutons de la partie 3
- **Position des thermoboutons pour la partie 1** (2 au milieu du composteur et 1 à 10 cm du bord)

- **Position des thermoboutons pour la partie 2** (2 au milieu du composteur et 1 à 10 cm du bord)



- **Position des thermoboutons pour la partie 3** (2 au milieu du composteur et 1 à 10 cm du bord)

ANNEXE 3 : Modèles de courriers pour l'expédition des échantillons

Courrier pour les expéditions de lixiviats :

Toilettes Du Monde
28 place des arcades
26110 Nyons
04 75 26 29 98

ISAE 35
Service Agro-Alimentaire
BioAgroPolis - 10 rue Claude Bourgelat
CS 30616 - JAVENE
35306 FOUGERES Cedex

Objet : analyses d'échantillons de lixiviats

Madame, monsieur,

Veillez trouver ci-joint, 2 échantillons de lixiviats, à analyser dans le cadre du contrat d'analyses établis entre l'ISAE35 et Toilettes Du Monde relatif au projet d'étude sur le compostage de sous-produits de toilettes sèches familiales.

- L'un des échantillons est à analyser sur des **paramètres physico-chimiques** : DBO₅, DCO, MES, pH, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺, NKjeldahl.
- L'autre échantillon est à analyser sur des **paramètres microbiologiques** : E Coli, Entérocoques, Clostridium perfringens (formes sporulées et végétatives).

Pour toute question sur ces analyses, vous pouvez contacter Florent BRUN au 04 75 26 29 98.

La personne référente pour cette étude à l'ISAE est Mme Loysance-Paroux.

Cordialement,

Florent BRUN

Courrier pour les expéditions de compost lors des deux 1^{ères} campagnes de prélèvements :

Toilettes Du Monde
28 place des arcades
26110 Nyons
04 75 26 29 98

ISAE 35
Service Agro-Alimentaire
BioAgroPolis - 10 rue Claude Bourgelat
CS 30616 - JAVENE
35306 FOUGERES Cedex

Objet : analyses d'échantillons de compost

Madame, monsieur,

Veillez trouver ci-joint, 2 échantillons de compost, à analyser dans le cadre du contrat d'analyses établis entre l'ISAE35 et Toilettes Du Monde relatif au projet d'étude sur le compostage de sous-produits de toilettes sèches familiales.

Ils sont à analyser sur des **paramètres microbiologiques** : E Coli, Entérocoques, Clostridium perfringens (formes sporulées et végétatives) + le pH et le taux d'humidité.

Pour toute question sur ces analyses, vous pouvez contacter Florent BRUN au 04 75 26 29 98.
La personne référente pour cette étude à l'ISAE est Mme Loysance-Paroux.

Cordialement,

Florent BRUN

Courrier pour les expéditions de compost lors de la 3^{ème} campagne de prélèvements :

Toilettes Du Monde
28 place des arcades
26110 Nyons
04 75 26 29 98

ISAE 35
Service Agro-Alimentaire
BioAgroPolis - 10 rue Claude Bourgelat
CS 30616 - JAVENE
35306 FOUGERES Cedex

Objet : analyses d'échantillons de compost

Madame, monsieur,

Veillez trouver ci-joint, 3 échantillons de compost, à analyser dans le cadre du contrat d'analyses établis entre l'ISAE35 et Toilettes Du Monde relatif au projet d'étude sur le compostage de sous-produits de toilettes sèches familiales.

- L'un des échantillons est à analyser sur des paramètres agronomiques : Matières Organiques, Carbone Total, Azote Total, K₂O, P₂O₅
- Les deux autres échantillons sont à analyser sur des paramètres microbiologiques : E Coli, Entérocoques, Clostridium perfringens (formes sporulées et végétatives) + le pH et le taux d'humidité.

Pour toute question sur ces analyses, vous pouvez contacter Florent BRUN au 04 75 26 29 98.

La personne référente pour cette étude à l'ISAE est Mme Loysance-Paroux.

Cordialement,

Florent BRUN

ANNEXE 4 : Calendrier des analyses en laboratoire

Légende : PL : prélèvement de lixiviats pour analyse en laboratoire
 PC : prélèvement de compost pour analyse en laboratoire
 M.B. : microbiologiques

Campagne d'analyse		PL1 Dec. 12	PL2 Fév. 13	PL3 Avr. 13	PC1 Mai 13	PC2 Nov. 13	PC3 Mai 14	
Volet d'étude	Prélèvements	Echantillon 1 Echantillon 2	Echantillon 1 Echantillon 2 Echantillon 3					
	Paramètres							
VOLET 2 - lixiviats	Physico-chimiques	DBO ₅	X	X	X			
		DCO	X	X	X			
		MES	X	X	X			
		pH	X	X	X			
		NO ₃ ⁻	X	X	X			
		NO ₂ ⁻	X	X	X			
		NH ₄ ⁺	X	X	X			
	N _{kejdahl}	X	X	X				
	M.B.	E. Coli	X	X	X			
		Entérocoques	X	X	X			
Cl. perfringens		X	X	X				
VOLET 1 - compost	M.B.	pH				X X	X X	X X
		Tx d'humidité				X X	X X	X X
		E. coli				X X	X X	X X
		Entérocoques				X X	X X	X X
		Cl. perfringens				X X	X X	X X
	Agronomiques	Mat. org.						X
		Carbone Total						X
		Azote Total						X
		K ₂ O						X
		P ₂ O ₅						X

ANNEXE 5 : étiquetage des échantillons

Sur chaque échantillon expédié au laboratoire d'analyse doit être solidement attachée une étiquette comprenant les informations suivantes :

- Code d'identification du prélèvement
- Date de prélèvement
- Type d'analyses à faire par le laboratoire

→ Le code d'identification des prélèvements fonctionne de la manière suivante :

[code commune]-[code campagne d'analyses]-[numéro d'échantillon]-[code paramètres]

Les codes communes sont :

GIG = Gigondas
 NYO = Nyons
 PLE = Plédran
 LAN = Landevant
 STB = St Barthélémy
 KEM = Kergrist Mouellou

Les codes campagnes d'analyses sont :

- PL1 = 1^{ère} campagne lixiviats
 - PL2 = 2^{ème} campagne lixiviats
 - PL3 = 3^{ème} campagne lixiviats
 - PC1 = 1^{ère} campagne compost
 - PC2 = 2^{ème} campagne compost
 - PC3 = 3^{ème} campagne compost

Les numéros d'échantillons sont :

E1 = échantillon 1
 E2 = échantillon 2
 E3 = échantillon 3 (uniquement pour le PC3)

Les codes paramètres sont :

MIC = microbiologiques
 PHC = physicochimiques
 AGR = agronomiques

Exemples :

- Lors du premier prélèvement de lixiviats sur le site de Gigondas, les deux échantillons seront notés :

GIG-PL1-E1-PHC
GIG-PL1-E2-MIC

- Lors du premier prélèvement de compost sur le site de Plédran, les deux échantillons seront notés :

PLE-PC1-E1-MIC
PLE-PC1-E2-MIC

- Lors du troisième prélèvement de compost sur le site de Plédran, les deux échantillons seront notés :

PLE-PC3-E1-MIC
PLE-PC3-E2-MIC
PLE-PC3-E3-AGR

→ Type d'analyses à faire par le laboratoire

Pour éviter tout oubli dans la liste des paramètres à analyser (cf. annexe 4), il est demandé d'inscrire sur les étiquettes fixées sur les échantillons uniquement le type d'analyses à réaliser :

- **microbiologiques ou physico-chimiques pour les échantillons de lixiviats**
- **microbiologiques ou agronomiques pour les échantillons de compost.**

La liste complète des analyses à réaliser est transmise au laboratoire par le biais des courriers d'accompagnement à joindre aux colis (cf. Annexe 3).

Annexe 5 : Fiche de suivi des intrants pour les familles de l'étude

Tableau de suivi de l'utilisation de la toilette sèche

feuille n°:

Comment remplir le tableau :

- Le tableau est rempli à chaque passage, par les usagers eux mêmes.
- Il vous suffit de cocher à chaque passage, dans la (ou les) colonne(s) correspondante(s).
- La catégorie "enfant" va jusqu'à 12 ans. Les enfants de plus de 12 ans sont comptés en adultes.

Site de		ADULTES				ENFANTS			
Date	PIPI	CACA	Précisions	Date	PIPI	CACA	Précisions		
08-déc-12				08-déc-12					
09-déc-12				09-déc-12					
10-déc-12				10-déc-12					
11-déc-12				11-déc-12					
12-déc-12				12-déc-12					
13-déc-12				13-déc-12					
14-déc-12				14-déc-12					
15-déc-12				15-déc-12					
16-déc-12				16-déc-12					
17-déc-12				17-déc-12					
18-déc-12				18-déc-12					
19-déc-12				19-déc-12					
20-déc-12				20-déc-12					
...				...					
08-juin-13				08-juin-13					

Tableau de suivi des vidanges et autres intrants

feuille n°:

Comment remplir le tableau :

- Faire une première mesure du poids du seau vide
- A chaque vidange, réaliser une pesée du seau et inscrire la valeur dans la case correspondante. La masse du seau vide devrait être mesurée après la vidange.
- Le volume d'eau de lavage du seau est également mesuré à chaque opération. Il est recommandé d'utiliser toujours le même volume d'eau de lavage (par exemple 3 litres).
- La ligne "volume d'eau d'arrosage ne concerne que les sites avec une gestion optimisée". Ce volume doit être mesuré à chaque arrosage (arrosage au tuyau interdit).
- La ligne "autres apports" vous permet de noter d'éventuels apports non souhaités ajoutés par erreur (déchets verts, déchets de cuisine, litière d'animaux, etc.). Préciser leur nature dans la ligne ci-dessous.
- Les apports de litière carbonée dans la toilette et de matériaux couvrant au niveau de l'aire de compostage sont notés dans le tableau suivant "Litières"

Site de									
	Unité								
Date									
Masse du seau rempli	kg								
Masse du seau vide	kg								
Volume d'eau de lavage du seau	Litre								
Volume d'eau d'arrosage (si gestion optimisée)	Litre								
Autres apports (erreur ou autre)	Litre ou kg								
Autres apports - précisions	Texte								
Observations diverses	Texte								

Date									
Masse du seau rempli	kg								
Masse du seau vide	kg								
Volume d'eau de lavage du seau	Litre								
Volume d'eau d'arrosage (si gestion optimisée)	Litre								
Autres apports (erreur ou autre)	Litre ou kg								
Autres apports - précisions	Texte								
Observations diverses	Texte								

Tableau de caractéristique des lixiviats

NE PAS REMPLIR LES CELLULES GRISEES (calcul automatique)**Comment remplir le tableau :**

Avant le démarrage de l'étude réaliser une pesée du bidon de collecte vide. Si vous avez besoin de changer de bidon en cours d'étude, faire une pesée du nouveau bidon utilisé

1/ Réaliser une pesée de la masse totale du bidon et noter le résultat obtenu dans la ligne "masse totale"

2/ Réaliser les mesures chimiques à l'aide des bandelettes en respectant le protocole fournis et noter les résultats dans les lignes correspondantes

Site de									
	Unité								
Date									
pH (avant dilution)	nbre								
Dilution	nbre								
Nitrates (NO ₃ ⁻) dilué (mg/l)	mg/litre								
<i>NO₃⁻ non dilué</i>	mg/litre	0	0	0	0	0	0	0	0
Nitrites (NO ₂ ⁻) dilué (mg/l)	mg/litre								
<i>NO₂⁻ non dilué</i>	mg/litre	0	0	0	0	0	0	0	0
Ammoniac (NH ₄ ⁺) dilué (mg/l)	mg/litre								
<i>NH₄⁺ non dilué</i>	mg/litre	0	0	0	0	0	0	0	0
Masse totale	kg								
Masse du bidon vide	kg								
Observations diverses	Texte								

Tableau de suivi des litières et matières couvrantes utilisées

feuille n°

Comment remplir le tableau :

- La masse de litière et de matières couvrantes apportée dans la toilette est obtenue en mesurant les masses récupérées lors des approvisionnements (à la scierie, au jardin, etc.). Il ne s'agit pas de mesurer le volume apporté dans chaque seau mais le volume total de litière utilisé sur une période donnée (ex: 300 litres de sciure consommé en 3 mois)

- Les approvisionnements en matières couvrantes sont plus fréquents donc à mesurer au fur et à mesure que l'entretien du jardin apporte des matériaux adéquats (tonte, herbes...)

Proposition : stocker votre litière le temps d'en avoir environ 150-300 litres., la laisser sécher puis la peser en la portant et calculer la différence.

- Si vous utilisez souvent de la litière encore humide (tonte fraîche, mauvaises herbes tout juste coupées), merci de le préciser.

Site de :

Litières	Unité	Période X	Période	Période	Période
Litière de toilette					
Dates	Texte	Du 01/11 au 31/01			
Quantité de Litière dans la toilette	Kg	300			
Type de litière pour la toilette (copeaux, sciure, etc. / et essence de bois)	Texte	sciure de résineux			
Litière de compost	Unité	Période X'	Période	Période	Période
Dates	Texte	Du 01/11 au 29/02			
Quantité de Litière dans le composteur	Kg	150			
Type de litière pour le composteur	Texte	paille			
Litières	Unité	Période	Période	Période	Période
Litière de toilette					
Dates	Texte				
Quantité de Litière dans la toilette	Kg				
Type de litière pour la toilette (copeaux, sciure, etc. / et essence de bois)	Texte				
Litière de compost	Unité	Période	Période	Période	Période
Dates	Texte				
Quantité de Litière dans le composteur	Kg				
Type de litière pour le composteur	Texte				

Gestion des sous-produits de toilettes sèches familiales

feuille n°

Etude sur le traitement des matières par compostage

Feuille de relevés à utiliser pour les opérations de vidange et de collecte des lixiviats

Site de

Date du relevé

Poids du contenant de la toilette plein (seau)	<input style="width: 90%;" type="text"/>	kg	
Poids du contenant de la toilette vide (seau)	<input style="width: 90%;" type="text"/>	kg	
Volume d'eau de lavage du seau	<input style="width: 90%;" type="text"/>	litres	
Volume d'eau d'arrosage	<input style="width: 90%;" type="text"/>	litres	
Autres apports (erreur ou autre, quantité, etc.)	<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>		
Observations diverses	<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>		

Températures

- **Point 1** (à 15 cm du fond et au centre du composteur) °C
- **Point 2** (au centre du composteur, à 50 cm de hauteur) °C
- **Point 3** (à 10 cm du bord du composteur, à 50 cm de hauteur) °C

pH des lixiviats (avant dilution)	<input style="width: 90%;" type="text"/>		
Facteur de dilution des lixiviats	<input style="width: 90%;" type="text"/>		
Concentration en Nitrates (après dilution)	<input style="width: 90%;" type="text"/>	g/litre	valeur lue sur l'échelle colorimétrique valeur lue sur l'échelle colorimétrique valeur lue sur l'échelle colorimétrique
Concentration en Nitrites (après dilution)	<input style="width: 90%;" type="text"/>	g/litre	
Concentration en Ammoniaque (après dilution)	<input style="width: 90%;" type="text"/>	g/litre	
Masse des lixiviats	<input style="width: 90%;" type="text"/>	Kg	
Masse du bidon vide	<input style="width: 90%;" type="text"/>	Kg	
Observations diverses	<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>		

Annexe 6 : Fiche de suivi des températures relevées manuellement pour les familles de l'étude

Tableau de suivi des températures du compost

feuille n°

Comment remplir le tableau :

- Aussi souvent que possible et au moins une fois par semaine, un relevé de températures est réalisé dans le composteur
- 9 points de mesures doivent être relevés à chaque mesure (non loin des thermoboutons, attention à ne pas endommager les sachets de mise sous vide)
- Les points 1.M, 2.M et 3.M ne pourront être mesurés que lorsque le niveau des matières sera suffisamment élevé dans le composteur.
- La température extérieure est également mesurée

Site de										
Date	Unité									
Température partie 1: milieu du composteur haut equivalent à XXX.1.M	°C									
Température partie 1: milieu du composteur bas equivalent à XXX.1.M.2	°C									
Température partie 1 : à mi-hauteur sur le bord equivalent à XXX.1.B	°C									
Température partie 2: milieu du composteur haut equivalent à XXX.2.M	°C									
Température partie 2: milieu du composteur bas equivalent à XXX.2.M.2	°C									
Température partie 2 : à mi-hauteur sur le bord equivalent à XXX.2.B	°C									

Température partie 3: milieu du composteur haut equivalent à XXX.3.M	°C									
Température partie 3: milieu du composteur bas equivalent à XXX.3.M.2	°C									
Température point 3 : à mi-hauteur sur le bord equivalent à XXX.3.B	°C									
Température extérieure	°C									
Observations diverses	Texte									

Tableau de suivi des températures du compost

feuille n°

Comment remplir le tableau :

- Aussi souvent que possible et au moins une fois par semaine, un relevé de températures est réalisé dans le composteur
- 3 points de mesures doivent être relevés à chaque mesure (en bas au centre, à mi-hauteur au centre, à mi-hauteur sur le bord)
- Les points 2 et 3 ne pourront être mesurés que lorsque le niveau des matières sera suffisamment élevé dans le composteur.
- La température extérieure est également mesurée

Site de										
Date	Unité									
Température point 1 : en bas, au centre équivalent à XXX.B.M	°C									
Température point 2 : à mi-hauteur, au centre équivalent à XXX.H.M	°C									
Température point 3 : à mi-hauteur sur le bord équivalent à XXX.H.B	°C									
Température extérieure	°C									
Observations diverses	Texte									