VETAGRO SUP
CAMPUS VETERINAIRE DE LYON

Année 2017 - Thèse n°104

POLITIQUES URBAINES ET REPONSES AUX PROBLEMES DES DEJECTIONS CANINES EN VILLE. RETOUR D'EXPERIENCE DU LOMBRICOMPOSTAGE SUR 2 REFUGES CANINS.

THESE

Présentée à l'UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON I
(Médecine - Pharmacie)
et soutenue publiquement le 15 Décembre 2017
pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

MAISONNEUVE Maëlle
Née le 2 Mai 1991
à Paris 11ème

VetAgro Sup

UNIVERSITÉ DE LYON

VETAGRO SUP
CAMPUS VETERINAIRE DE LYON

Année 2017 - Thèse n°104

POLITIQUES URBAINES
ET REPONSES AUX PROBLEMES DES DEJECTIONS CANINES EN VILLE.
RETOUR D'EXPERIENCE DU LOMBRICOMPOSTAGE SUR 2 REFUGES CANINS.

THESE

Présentée à l'UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON I
(Médecine - Pharmacie)
et soutenue publiquement le 15 Décembre 2017
pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

MAISONNEUVE Maëlle
Née le 2 Mai 1991
à Paris 11ème

VetAgro Sup

UNIVERSITÉ DE LYON

Liste de Enseignants du Campus Vétérinaire de Lyon				MAJ: 13/04/2017
Civilité	**Nom**	**Prénom**	**Département**	**Grade**
Mme	ABITBOL	Marie	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
M.	ALVES-DE-OLIVEIRA	Laurent	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
Mme	ARCANGIOLI	Marie-Anne	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
M.	ARTOIS	Marc	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
Mme	AYRAL	Florence	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences Stagiaire
Mme	BECKER	Claire	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
Mme	BELLUCO	Sara	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
Mme	BENAMOU-SMITH	Agnès	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
M.	BENOIT	Etienne	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
M.	BERNY	Philippe	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
Mme	BONNET-GARIN	Jeanne-Marie	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
Mme	BOULOCHER	Caroline	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
M.	BOURDOISEAU	Gilles	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
M.	BOURGOIN	Gilles	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
M.	BRUYERE	Pierre	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
M.	BUFF	Samuel	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
M.	BURONFOSSE	Thierry	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
M.	CACHON	Thibaut	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
M.	CADORÉ	Jean-Luc	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
Mme	CALLAIT-CARDINAL	Marie-Pierre	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
M.	CAROZZO	Claude	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
M.	CHABANNE	Luc	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
Mme	CHALVET-MONFRAY	Karine	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
Mme	DE BOYER DES ROCHES	Alice	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
Mme	DELIGNETTE-MULLER	Marie-Laure	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
M.	DEMONT	Pierre	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
Mme	DJELOUADJI	Zorée	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
Mme	ESCRIOU	Catherine	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
M.	FAU	Didier	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
Mme	FOURNEL	Corinne	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
M.	FREYBURGER	Ludovic	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
M.	FRIKHA	Mohamed-Ridha	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
Mme	GILOT-FROMONT	Emmanuelle	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
M.	GONTHIER	Alain	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
M.	GRANCHER	Denis	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
Mme	GREZEL	Delphine	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
M.	GUERIN	Pierre	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
Mme	HUGONNARD	Marine	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
M.	JANKOWIAK	Bernard	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences Contractuel
M.	JAUSSAUD	Philippe	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
Mme	JOSSON-SCHRAMME	Anne	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences Contractuel
M.	JUNOT	Stéphane	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
M.	KODJO	Angeli	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
Mme	KRAFFT	Emilie	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
Mme	LAABERKI	Maria-Halima	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
Mme	LAMBERT	Véronique	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
Mme	LATTARD	Virginie	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
Mme	LE GRAND	Dominique	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
Mme	LEBLOND	Agnès	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
Mme	LEDOUX	Dorothée	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences Contractuel
M.	LEFEBVRE	Sébastien	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences Stagiaire
Mme	LEFRANC-POHL	Anne-Cécile	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
M.	LEPAGE	Olivier	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
Mme	LOUZIER	Vanessa	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
M.	MARCHAL	Thierry	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
M.	MOUNIER	Luc	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
M.	PEPIN	Michel	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
M.	PIN	Didier	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
Mme	PONCE	Frédérique	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
Mme	PORTIER	Karine	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
Mme	POUZOT-NEVORET	Céline	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
Mme	PROUILLAC	Caroline	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
Mme	REMY	Denise	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
Mme	RENE MARTELLET	Magalie	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
M.	ROGER	Thierry	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
M.	SABATIER	Philippe	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
M.	SAWAYA	Serge	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
M.	SCHRAMME	Michael	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
Mme	SERGENTET	Delphine	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
M.	THIEBAULT	Jean-Jacques	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
M.	TORTEREAU	Antonin	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
M.	VIGUIER	Eric	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
Mme	VIRIEUX-WATRELOT	Dorothée	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences Contractuel
M.	ZENNER	Lionel	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur

Remerciements

A Monsieur le Professeur Alain CALENDER,
De la faculté de médecine de Lyon,
Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de mon jury de thèse,
Hommages respectueux.

A Monsieur le Professeur Lionel ZENNER,
De VetAgro Sup, campus vétérinaire de Lyon,
Pour avoir accepté d'encadrer mon travail, pour votre patience et vos conseils,
Très sincères remerciements.

A Madame le Maître de conférences Maria-Halima LAABERKI
De VetAgro Sup, campus vétérinaire de Lyon,
Pour avoir accepté de faire partie de mon jury de thèse,
Toute ma gratitude.

Remerciements

A la métropole de Grenoble ;
Pour m'avoir donné accès aux sites de lombricompostage et aux documents les concernant.
Sincères remerciements

A Madame Liliane BATTAIS
Pour m'avoir accueilli au sein de ce projet de la métropole de Grenoble
Toute ma gratitude

A Madame Chrystele DOULAT
Pour avoir été mon contact auprès des chenils.
Hommages respectueux

Table des matières

Table des figures 11
Table des Tableaux 13
Liste des abréviations 15
Introduction 17
I. Le chien en ville : le problème des déjections canines 19
A. Le chien en ville, entre nuisances et bénéfices 19
1. Evolution de la population canine en France 19
2. Les chiens et l'opinion public 19
B. Les déjections, une nuisance pour les villes 20
1. Le chien, une source de nuisances 20
2. L'opinion de la population française sur les déjections canines 21
C. Les risques liés aux déjections canines en ville 21
1. Les risques physiques 21
2. Le risque sanitaire 22
D. La gestion des déjections canines 35
1. Les acteurs 35
2. Texte de loi 36
3. Sanctions 36
4. Des initiatives pour encourager les villes à améliorer leur propreté 37
5. La nécessité de réaménager l'aire urbaine 39
E. Gestion des déjections par la ville 44
1. Les objectifs à long terme 44
2. La collecte 45
3. Le traitement 46
4. Alternatives aux traitements classiques 47
II. Compostage et lombricompostage : comparaison de deux procédés populaires dans le monde. 55
A. Le compost et lombricompost dans la loi française. 55
1. Législation française 55
2. Les exigences françaises sur la température 56
3. Normes NF U 44-051 56
B. Le compostage 60
1. Le compostage de proximité 60
2. Principe du compostage 61

3. Les différentes méthodes de compostages 65
4. Evaluation du compost 66
5. Aspect sanitaire du compost 68
C. Le lombricompostage 69
1. Introduction au lombricompostage 69
2. Quelques consignes pour le lombricompostage 69
3. Les méthodes de lombricompostage 71
4. Eisenia foetida 72
D. Comparaison lombricompost/compost 82
1. Durée 82
2. Aspect économique 83
3. Qualité du produit final 83
III. Application du procédé de lombricompostage à des refuges pour animaux. 85
A. Un refuge animalier près de Montélimar 85
1. Présentation du refuge animalier 85
2. Raisons du projet 85
3. Choix du projet 85
4. Mise en place du projet 86
5. Evolution du lombricompost 87
6. Les conclusions de ce projet 87
B. Le projet de la métropole de Grenoble 88
1. Présentation du projet 88
2. Mise en place du projet 89
3. Lancement du projet 89
4. Le projet aujourd'hui 90
5. Conclusions sur le projet 91
C. Discussion 91
1. Aspect économique 91
2. La Localisation 92
3. L'acceptation des villes 92
4. Le fonctionnement de la structure de lombricompostage 93
5. Devenir du lombricompost 93
6. L'association du compostage et du lombricompostage 93
7. Comment le lombricompostage pourrait-il être une solution pour les villes ? 94
Conclusion ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Bibliographie 99

Table des figures

Figure 1 : Vespachien 40
Figure 2: Modèle de canisite d'après Parizot (1991) 41
Figure 3 : composteur en câbles 50
Figure 4 : Composteur en plastique 51
Figure 5 : Composteur en palette 51
Figure 6 : Composteur rotatif 52
Figure 7 : Composteur à étages, figure de l'étude USDA/NRCS 52
Figure 8 : Composteur aéré, figure de l'étude USDA/NRCS 52
Figure 9 : Allure général de l'évolution du taux d'oxygène soluble dans du compost des boues de traitement des eaux usées d'une unité laitière d'après Bihaoui and al (2010) 61
Figure 10 : Allure général de l'évolution du taux d'humidité dans le compost de déchets urbains solides d'après E. Compaoré et L.S. Nanéma (2010) 62
Figure 11 : Allure général de l'évolution de la température de compost en fosse de déchets urbains solides d'après E. Compaoré et L.S. Nanéma (2010) 63
Figure 12: Allure général de l'évolution du rapport C/N du compost d'après Morel et al (1986) 64
Figure 13 : Allure générale de l'évolution du pH lors du compostage d'après Bihaoui et al (2010) 64
Figure 14 : Évolution de la matière organique totale du mélange de fumier de poulet et de sciure de bois composté et lombricomposté par Eisenia foetida (St Pierre, 1998) 82
Figure 15 : Photographie de la première fosse mise en place au chenil de Versoud 90
Figure 16 : Photographie d'une poignée de lombricompost récupérée 6 mois après la mise en place de la 2ème fosse. 90

Table des Tableaux

Tableau I : Les Bactéries susceptibles d'être transmises à l'homme via les déjections canines d'après Troillet (2014) et Polack et al (2015) 24
Tableau II : Les helminthes susceptibles d'être transmis à l'homme via les déjections canines d'après Troillet (2014) et Polack et al (2015) 27
Tableau III : Les protozoaires susceptibles d'être transmis à l'homme via les déjections canines d'après Troillet (2014) et Polack et al (2015) 31
Tableau IV : Les crustacés susceptibles d'être transmis à l'homme via les déjections canines d'après Troillet (2014) et Polack et al (2015) 33
Tableau V : Consignes de la loi française d'après l'arrêté du 27 juillet 2012_Article 2 56
Tableau VI : Dénomination des composts (NF U 44-051) 57
Tableau VII : Exigences en métaux pour les normes françaises et européennes des composts (ADEME 2013) 58
Tableau VIII : Limites d'impuretés en France fixées par la norme NF U 44-051 58
Tableau IX : Norme NF U44-051 concernant la présence de pathogène dans le compost 59
Tableau X : Flux limites annuels moyens sur 10 ans et teneurs limites norme NF U44-051 ... 59
Tableau XI : Effet du lombricompostage sur les populations d'helminthes 79

Liste des abréviations

FACCO : Fédération des Fabricants d'Aliments pour Chiens, Chats, Oiseaux et autres animaux familiers

ADEME : Agence de l'environnement et de la maitrise de l'énergie

ADN : Acide désoxyribonucléique

AFIRAC : Association française d'informations et de recherche sur l'animal de compagnie

AVPU : Association des villes pour la propreté urbaine

BARF : Biologically Appropriate Raw Food, mais également Bones And Raw Food

C/N : rapport carbone sur azote

CTO : Composés trace organiques

DGGE : Denaturing gradient gel electrophoresis

IMSP : Indicateur moyen de salissure pondéré

IOP : Indicateur objectif de propretés

SVT : Science de la vie et de la terre

MB : Matière brute

MJC : Maison des jeunes et de la culture

MO : Matière organique

MS : Matière sèche

NRCS : Natural resources conservation service

PCR : Polymerase chain reaction

PSE : Polystyrène expansé

SPA : Société protectrice des animaux

USDA : United States department of agriculture

Introduction

Le chien aurait été domestiqué entre -36 000 ans (Galibert et al, 2011) (Perri, 2016) et -16 000 ans (Skoglund et al, 2015). C'est donc le premier animal ayant été domestiqué, bien avant le cheval, ou même la création de l'agriculture. Depuis il s'est adapté aux modes de vie de l'homme et a évolué avec lui. Au début il était principalement considéré comme un animal de travail, et il servait essentiellement pour la chasse et pour la protection des hommes et de leurs biens (Boudabi-Maligne et al, 2012). Depuis ses rôles se sont diversifiés, et s'il peut toujours être considéré comme un animal de travail, il est désormais majoritairement vu comme un animal de compagnie. Son apparence a également beaucoup changée, et s'il partage toujours aujourd'hui 98% de son ADN mitochondrial avec le loup (Vila et al, 1997), très peu de races sont encore proches de son apparence. L'existence de ces nombreuses races de chiens donne la possibilité à chaque habitant de choisir une race qu'il juge adaptée à son mode de vie. Ainsi il sera plus commun d'observer des races de petite ou moyenne taille dans les villes, voire des races dites « Toys » qui semblent être très bien adaptées aux petits espaces de vie que l'on peut rencontrer dans les métropoles. Mais alors que le chien semble s'être adapté à nos nouveaux modes de vie, il semblerait que nos villes ne soient pas parvenues à évoluer pour permettre une bonne cohabitation de l'homme et du chien. Les espaces qui lui sont dédiés sont peu nombreux et de ce fait les trottoirs sont les principaux lieux de balades mais également les sanitaires des chiens. Les déjections s'accumulent et les villes ne savent qu'en faire. La métropole de Grenoble fait face aux mêmes problèmes que ces consœurs françaises, mais elle n'a trouvé chez aucunes d'elles de solutions pour les contrer. Mettre en place une solution pour une ville sans l'avoir testée à plus petite échelle représentait un risque conséquent. Les chenils et fourrières sont alors apparus comme étant les lieux idéaux pour expérimentés de nouveaux procédés. Mais pour que ces nouveaux projets soient conduits de la manière la plus efficace possible, un tour d'horizon des différentes façons de traiter les déjections canines a d'abord été réalisé. Plusieurs projets indépendants avaient proposé des solutions, et parmi elles le lombricompostage attirait par son côté écologique et pratique. Mais si le procédé a souvent été utilisé avec des déchets ménagers, son efficacité sur les déjections canines n'a que peu été étudiée. Ce procédé avait déjà été mis en place dans un chenil du Sud de la France, et la métropole de Grenoble a alors décidé de suivre cet exemple. Cette thèse visera donc à établir l'utilité et l'efficacité d'un tel procédé comme moyen de gestion des déjections canines.

Dans un premier temps nous établirons les problèmes que représentent actuellement les déjections en ville et les différentes solutions qui sont proposées. Puis nous comparerons le compostage et le lombricompostage, deux solutions qui sont aujourd'hui envisagées pour traiter les déjections canines. Enfin nous partirons d'exemples pour établir si le lombricompostage de déjections canines est un projet réalisable à l'échelle d'une ville.

I. Le chien en ville : le problème des déjections canines

Le chien est depuis longtemps le compagnon des hommes, et si pour beaucoup il ne peut vivre qu'en maison avec un jardin, les villes en accueillent également beaucoup. Cependant les espaces urbains ne sont pas toujours bien adaptés à une cohabitation entre l'homme et l'animal. Une part de la population s'insurge contre la présence de ces animaux en ville. Les raisons de ces protestations sont multiples, mais les déjections sont un des arguments majeurs. Les municipalités se trouvent alors dans l'obligation de s'assurer que les nuisances provoquées par les chiens restent minimes, et doivent assurer une gestion efficace des déjections canines.

A. Le chien en ville, entre nuisances et bénéfices

Pour évaluer le problème que peut poser la présence des chiens en ville, nous allons commencer par étudier leur population, leur place au sein des foyers, et enfin les nuisances qu'ils peuvent provoquer.

1. Evolution de la population canine en France

En France, la population canine a augmentée depuis les années 1960, et s'est ensuite stabilisée. Depuis 2010 elle est même en légère diminution alors qu'en parallèle la population féline augmente (Parizot, 1991) (FACCO, 2015). L'enquête de 2016 réalisée par la FACCO (Fédération des Fabricants d'Aliments pour Chiens, Chats, Oiseaux et autres animaux familiers) révèle cependant que pour la première fois depuis plusieurs années, la population canine est en très légère augmentation (FACCO, 2016). Cependant ces données regroupent l'ensemble des chiens vivants en milieux urbains et ruraux, il est donc difficile d'évaluer précisément l'évolution de la population canine en ville.

En 2014 on comptait environ 7,3 millions de chiens en France, soit 20,1% des foyers français qui possédaient un chien. Cela représente une part importante de la population, mais leur répartition entre la ville et la campagne est inégale. En effet 75% des chiens vivent en maison avec jardin (FACCO,2014), donc plutôt dans des zones à faible densité de population. L'enquête de la FACCO révèle de plus que la majorité des propriétaires vivent dans des agglomérations de moins de 2 000 habitants (31,6%). Mais une part non négligeable (30,5%) vivent dans des agglomérations de plus de 100 000 habitants ce qui représente environ 2,2 millions de chiens, majoritairement de moyennes et petites races.

2. Les chiens et l'opinion public

L'évolution de nos modes de vies a modifié la relation que nous avions avec les chiens. Ils vivent dans des appartements sans jardin, et sont présents dans les espaces publics. De ce fait les citadins n'appréciant pas les chiens seront amenés à en croiser régulièrement. Pour eux le chien peut être une source de nuisances. A contrario, au sein des familles accueillant cet animal, il est de plus en plus considéré comme un membre à part entière de la famille et a donc le droit d'être présent en ville.

De nombreuses études se sont intéressées aux bienfaits apportés par les animaux, et en particulier les chiens. Ils peuvent notamment être très utiles pour aider des personnes atteintes de maladies chroniques (Charbonniers, 2010) (Fradin, 2009), et peuvent être indispensables pour certaines personnes souffrant de handicap.

Une partie de la population apparait divisée sur le problème des chiens en villes. Il y a ceux qui considèrent que c'est leur droit de posséder un chien et que cela a des vertus positives, et les autres pour qui le chien est une source de nuisances qui ne devrait pas avoir sa place en ville. Ce clivage de la population se retrouve dans de nombreuses villes. Par exemple 88% des habitants du grand Lyon considèrent que les propriétaires de chiens manquent de civisme, 8% sont contre la présence de chiens en ville et 18% se déclarent gênés par cette présence malgré l'opinion positive qu'ils ont du chien (Grand Lyon, 2005). Finalement le problème ne semble pas tant la présence des chiens dans les villes, mais plutôt le fait que la ville ne soit pas actuellement un environnement très favorable à une cohabitation homme/animal.

Ces différences d'opinions peuvent mener à des problèmes de voisinage. En parlant avec un ancien cadre travaillant pour la mairie d'une grande ville, il s'est avéré que ces problèmes étaient fréquents. Or les municipalités sont régulièrement sollicitées en tant que médiateurs et doivent de ce fait consacrer du temps et des moyens humains à la résolution de ces altercations. Au final c'est une perte d'argent pour les communes.

Les chiens sont donc plusieurs millions à arpenter les trottoirs des grandes métropoles françaises. Ils revêtent une importance sociale primordiale qui ne cesse d'augmenter. Cependant les débats autour de la place de l'animal en ville existent depuis des années et semblent s'accentuer dernièrement dans certaines grandes villes.

B. Les déjections, une nuisance pour les villes

Parmi les problèmes posés par le chien en ville, les déjections sont souvent mises en avant et il est commun de considérer que les déjections canines sont responsables en grande partie de la saleté de nos trottoirs.

1. Le chien, une source de nuisances

Les déjections ne sont pas les seuls arguments des opposants du chien en ville. En effet les aboiements, les nuisances olfactives, les animaux errants ou encore les animaux agressifs sont également des désagréments provoqués par la présence des chiens. Il est difficile de hiérarchiser ces problèmes, car l'importance qui leur est accordée est variable en fonction de nos expériences personnelles. Ces problèmes sont abordés sur de nombreux forums et sites et les déjections sont très régulièrement citées comme étant une nuisance majeure. Les communes publient également des études sur le sujet (site de la ville du Grand Lyon) en réponse au mécontentement d'une partie des citoyens. Dans un sondage réalisé à Paris en 2009 intitulé « baromètre de la propreté », les personnes interrogées plaçaient les déjections canines parmi les principaux problèmes de propreté de la ville

D'autres nuisances sont également retrouvées lors de recherches internet. Les nuisances sonores apparaissent elles aussi régulièrement et font l'objet de beaucoup d'interrogations sur les forums. Viennent ensuite les animaux errants et les nuisances olfactives.

Ces différentes nuisances sont ainsi utilisées pour justifier que les chiens n'ont pas leur place en milieu urbain. Les plaintes nombreuses reflètent un réel problème au sein de la société et de l'aire urbaine telle qu'elle existe aujourd'hui.

2. L'opinion de la population française sur les déjections canines

Les déjections sont considérées comme les détritus le plus incommodants (Mairie de Paris, 2009) (Grand Lyon, 2005). Elles diminuent le confort de chacun au quotidien, mais également l'image des villes. Aujourd'hui la France accueille chaque année plusieurs millions de touristes (Insee, 2016), et les grandes métropoles telles que Paris font parties des circuits touristiques les plus fréquentés. Or malgré l'image romantique de cette ville auprès des touristes, force est de constater que nombreux sont déçus car ils trouvent la ville « sale », notamment pour une partie des touristes asiatiques. Les enjeux peuvent donc être importants, et les avis de certains très tranchés. Les mairies ont des difficultés à communiquer sur le sujet car toute prise de position semble être sujette à polémique. Cela provoque également des conflits en interne. Il apparaitrait également que les hommes politiques préfèreraient déléguer ou repousser le problème car ce serait un sujet risqué pour une carrière (conversation avec un ancien membre de la mairie d'une grande ville).

La propreté des métropoles françaises est un problème qui perdure depuis de nombreuses années. Le développement des villes a engendré une densification de la population canine, et même s'il est vrai que cette population est stable, la place du chien au sein du foyer familiale ne cesse de croitre. De ce fait il est impossible d'envisager l'interdiction des chiens en villes, et il faut donc faire avec les nuisances qu'ils engendrent.

C. Les risques liés aux déjections canines en ville

Les déjections canines sont une gêne pour les citadins, mais plus que le simple aspect dérangeant et non esthétique que représente leur présence sur les trottoirs, c'est leur potentiel danger qui inquiète les mairies.

1. Les risques physiques

Les risques physiques sont communément évoqués lorsque l'on parle de déjections canines. Dans des rapports concernant les nuisances des chiens en ville, les déjections sont présentées comme étant responsables de glissades et donc de chutes accidentelles (Grand Lyon, 2005) (Siloé, 2003). Cependant aucune donnée chiffrée n'est disponible concernant ces chutes. Il est donc difficile d'évaluer à quel point ce risque est réel, et il est possible que ce soit en partie une légende urbaine. Mais ce risque est tellement ancré dans l'imaginaire collectif qu'il ne peut être négligé par les hommes politiques.

2. Le risque sanitaire

Un autre danger qui inquiète les mairies est la contamination des bacs à sable et des squares pour enfants par ces déjections (Ville de Lyon, 2003). Les adultes sont également concernés par ce risque, même si une hygiène correcte permet d'éviter la majorité des contaminations.

a) Le risque sanitaire des déjections canines dans les zones publiques

Les fèces des chiens peuvent être la source de nombreux pathogènes transmissibles à l'homme. Cette transmission peut avoir lieu lors d'un contact bref avec les fèces présentes dans les espaces publiques. La concentration de fèces de nombreux individus ne fera qu'amplifier ce risque.

Ces zoonoses semblent en extension du fait notamment de la mondialisation et d'une relation plus affective entre l'homme et le chien qu'il y a quelques années. Mais aussi probablement de façon artéfactuelle du fait des progrès des techniques d'investigations et du plus grand nombre d'enquêtes réalisées sur ces sujets. Ce paragraphe répertoriera de la façon la plus exhaustive possible les pathogènes qui peuvent être retrouvés en France dans les déjections canines. Il ne sera pas tenu compte des pathogènes éventuellement retrouvés hors du territoire métropolitain. Au contraire ceux retrouvés uniquement dans certaines régions métropolitaines seront intégrés à la liste. De plus seuls les pathogènes transmissibles directement via les fèces seront répertoriés.

Ces pathogènes seront répartis en 6 catégories : les virus, les bactéries, les helminthes, les protozoaires, les champignons et les crustacés.

(1) Les virus

Les virus transmis à l'homme via les fèces de chiens sont très minoritaires. En France, et même plus largement en Europe, ce problème n'a jamais été rencontré. Cependant des doutes persistent pour certains virus.

C'est par exemple le cas pour le virus de l'hépatite E. En effet, ce sont essentiellement les porcs qui sont touchés avec jusqu'à 50% des porcs en âge d'être abattu en France (Paviot et al, 2010). Cependant il a aussi été retrouvé chez le chien, notamment en Chine et au Brésil. La prévalence en France n'a pas été recherchée, mais compte tenu de la forte prévalence chez les porcs, il est possible que des chiens soient également atteints. Si les effets sur le chien sont pour l'instant inconnus, il peut provoquer chez l'homme des troubles hépatiques importants. La transmission du chien à l'homme n'a pour l'instant pas été établie, ce qui en fait à priori un risque mineur pour l'homme, mais le sujet n'a été que peu étudié. Retenons également que ce virus est résistant dans l'environnement, et sera inactivé s'il est chauffé 10 minutes à 70°C (Rose et Pavio 2014).

Le risque n'est pas le même si l'on s'intéresse aux virus transmissibles entre chiens, comme c'est par exemple le cas pour le virus de la parvovirose canine. Ce virus très résistant dans l'environnement et présent en très grande quantité dans les fèces des animaux contaminés, est responsable de nombreux décès canins, en particulier de chiots. Les virus présents dans les déjections canines sont donc plus un risque pour la santé canine que pour la santé humaine.

(2) Les bactéries

Les bactéries apparaissent comme un risque à prendre en compte pour la santé humaine compte tenu du tableau I. Ce risque est d'autant plus important que des bactéries comme *Escherichia coli* présentent des résistances à certains antibiotiques (Schaufler et al, 2015).

Tableau I : Les Bactéries susceptibles d'être transmises à l'homme via les déjections canines d'après Troillet (2014) et Polack et al (2015)

Bactérie	Espèces concernées	Fréquence chez le chien	Mode de transmission à l'homme	Maladie chez le chien	Maladie chez l'homme	Sources
Campylobacter spp	Mammifères, oiseaux, reptiles	Plus de 50%	Voie orale	Asymptomatique ou diarrhée	Diarrhée souvent hémorragique, vomissement, fièvre, mort possible chez les personnes immunodéprimées et les très jeunes enfants	Chaban et al (2010) Damborg et al (2016)
Escherichia coli	Mammifères, surtout les bovins	Plus de 14%	Voie orale	Asymptomatique, ou diarrhée	Asymptomatique, ou diarrhée plus ou moins hémorragique, insuffisance rénale.	Hammermueller et al (1995) Haenni et al 2014 Schaufler et al (2015)
Salmonella spp	Mammifères, oiseaux, reptiles	Moins de 0,5%	Voie orale	Asymptomatique ou diarrhée, hyperthermie, vomissement, abattement	Diarrhée plus ou moins hémorragique, fièvre, vomissement	Morse et al (1976) Kozak et al (2003) Fukata et al (2002)
Yersinia enterocolitica	Mammifères	4,6%	Voie orale	Inconnue	Fièvre, diarrhée, douleur abdominale et arthrite chronique	Aoust et al (1988) Stamm (2013)

Pour certaines bactéries, il est difficile d'évaluer le risque que représente le chien. C'est par exemple le cas de *Listeria monocytogenes*. En effet au Japon comme aux Etats Unis, cette bactérie a été retrouvée dans des fèces de chiens, sans qu'un lien direct entre cette présence et une infection humaine n'ai été mis en évidence (Iida et al, 1998) (Omaima Maamoun, 2004). De plus la prévalence de cette bactérie chez la population canine française est inconnue. Chez le chien, l'infection pourrait être asymptomatique ou provoquer des diarrhées. Elle peut être grave chez l'homme notamment chez les personnes immunodéprimées et provoquer des avortements chez la femme.

Clostridium difficile est présent chez les chiens comme chez les hommes. Cependant il n'existe actuellement pas de preuves que le chien soit une source de contamination pour l'homme. Cette bactérie peut être relativement fréquente chez le chien, jusqu'à 20% des chiens présentant de la diarrhée dans une étude américaine (Marks et al, 2011), mais sa prévalence est inconnue en France. Les conséquences cliniques chez le chien sont peu documentées, et il semblerait que cette infection provoque majoritairement des diarrhées. Chez l'homme elle est responsable de diarrhées pouvant être sévères et accompagnées de crampes abdominales et de fièvre.

Notons également que *Corynebacterium pseudotuberculosis* et *C.ulcerans* ne sont pour l'instant pas compris dans la liste. En effet leur prévalence chez le chien est inconnue, et le mode de transmission entre le chien et l'homme est peu documenté (Dorella et al, 2006). Elle semble toutefois être principalement directe, et les fèces ne seraient donc a priori pas un risque.

Clostridium perfringens est présent dans le tube digestif des carnivores, et est retrouvé dans leurs fèces. Cependant la contamination humaine se fait très majoritairement via l'alimentation. Seuls quelques cas ont été rapportés comme n'étant pas liés à l'alimentation (Brett et al 1992), et de ce fait les fèces de chiens ne sont pas considérées comme étant responsables de contaminations humaines.

Nous retiendrons que les principaux risques sont constitués par *Campylobacter spp*, *Escherichia coli*, *Salmonella spp* et *Yersinia enterocolitica*. Si ces bactéries sont très souvent recherchées lors d'intoxications alimentaires, elles ne sont pour l'instant pas recherchées chez les chiens ou leurs propriétaires. De plus les signes cliniques pouvant être modérés aussi bien chez le chien que chez l'homme, les transmissions sont peut-être plus fréquentes que les cas répertoriés actuellement. Ces bactéries vont se retrouver dans les fèces puis dans l'environnement, or elles sont résistantes dans le milieu extérieur. Mais elles peuvent être inactivées par un traitement thermique. Concernant *Campylobacter spp* et *Escherichia coli* il faut quelques secondes à 65°C. Pour *Yersinia enterocolitica*, il sera nécessaire de maintenir cette température pendant près d'une minute (Aoust et al, 1988), et pour *Salmonella spp*, il faudra dépasser les 67°C (Aoust et al 1988).

Le risque bactérien sera peut-être amené à augmenter dans les années à venir. En effet le développement de nouveaux régimes alimentaires pour les animaux tel que le BARF (Biologically Appropriate Raw Food), qui consiste à nourrir ses animaux uniquement avec de la viande crue, pourrait augmenter la prévalence de certaines populations bactériennes chez les chiens.

(3) Les helminthes

Les helminthes apparaissent comme étant le risque le plus important associé aux déjections canines. Ils sont fréquemment retrouvés au sein de cette espèce et peuvent dans certains cas avoir des conséquences dramatiques [Tableau II].

Tableau II : Les helminthes susceptibles d'être transmis à l'homme via les déjections canines d'après Troillet (2014) et Polack et al (2015)

Les parasites	Espèces concernées	Fréquence chez le chien	Mode de transmission à l'homme	Maladie chez le chien	Maladie chez l'homme	Sources
Ankylostoma caninum	Les hôtes définitifs sont les canidés. Les hommes sont des hôtes accidentels.	6,2%	Ingestion de la larve, ou d'un hôte paraténique. Mais principalement par voie percutanée.	Grave chez le chiot vivant en collectivité. Anémie, troubles cutanés, alternance de diarrhée/constipation	Troubles cutanés et troubles respiratoires.	Casaupé et al (1996)
Capillaria hepatica	Les hôtes définitifs sont les rongeurs. Les intermédiaires sont les carnivores. Les hommes sont des hôtes accidentels.	Très Rare	Ingestion d'œufs	Troubles hépatiques. La mort est possible.	Troubles hépatiques, syndrome fébrile et troubles digestifs importants	Ceruti et al (2001)
Capillaria aerophila	Les carnivores sont les hôtes définitifs. Les hommes des hôtes accidentels.	0,3%	Ingestion d'œufs	Trachéite, bronchite, bronchopneumonie. Mort possible surtout chez les jeunes.	Toux, dyspnée, asthme et syndrome fébrile.	Hinney et al (2017)
Echinococcus granulosus	Les hôtes définitifs sont les canidés. Les intermédiaires sont les porcins, les ruminants, les équidés, les cervidés et accidentellement l'homme	Très rare	Ingestion d'un segment, ou d'œufs	Asymptomatique ou diarrhée	Atteinte des poumons, foie, rate, système nerveux, os. Parfois des œdèmes des poumons ou des chocs anaphylactiques	Dyachenko et al (2008) Deplazes et al (2011)

Les parasites	Espèces concernées	Fréquence chez le chien	Mode de transmission à l'homme	Maladie chez le chien	Maladie chez l'homme	Sources
Echinococcus multilocularis	Les hôtes définitifs sont les canidés. Les hôtes intermédiaires sont les rongeurs et les lagomorphes.	0 à 0,2%	Ingestion d'un segment ou d'un œuf	Asymptomatique ou diarrhée	Atteinte du foie (hépatomégalie, ascite, ictère). Peut aboutir à la mort.	Dyachenko et al (2008) Deplazes et al (2011)
Taenia multiceps	Les hôtes définitifs sont les canidés. Les hôtes intermédiaires sont les moutons L'homme est un hôte accidentel	Rare	Ingestion des œufs	Asymptomatique ou diarrhée	Atteinte nerveuse	Hinney et al (2017)
Taenia Serialis	Les hôtes définitifs sont les canidés. Les hôtes intermédiaires sont les lapins et lièvres L'homme est un hôte accidentel	Rare	Ingestion des œufs	Asymptomatique ou diarrhée	Atteinte nerveuse	Hinney et al (2017)
Toxocara canis	Les hôtes définitifs sont les canidés et félidés. Les hommes sont des hôtes accidentels	0,4% à 3,7% Et 26,3% pour les chiens de chenil	Ingestion des œufs	Toux, dyspnée, diarrhée, douleurs abdominales, vomissement, occlusion intestinale	Surtout chez les enfants et personnes immunodéprimées. Abcès, allergies, syndrome fébrile, pneumonie, hépatomégalie, cécité	Petitthory et Ardoin (1990) Hinney et al (2017) Claerebout et al (2009)

Les parasites	Espèces concernées	Fréquence chez le chien	Mode de transmission à l'homme	Maladie chez le chien	Maladie chez l'homme	Sources
Trichuris vulpis	L'hôte définitif est le chien. Les hommes sont des hôtes accidentels.	3,7% à 8%	Ingestion des œufs larvés	Asymptomatique sauf si infestation massive. Coliques sanguines chroniques et anémie.	Asymptomatique sauf si infestation massive. Entérite chronique.	Hinney et al (20017) Causapé et al (1996)
Strongyloides Stercoralis	Les chiens, chats, hommes, primates et rongeurs	Très Rare et 0,3% pour les chiens de chenil	Pénétration de la larve par voie transcutanée	Prurit, urticaire, toux, dyspnée, diarrhée et douleurs abdominales	Prurit, urticaire, toux, dyspnée, diarrhée et douleurs abdominales	Claerebout et al (2009)

Baylisascaris procyonis est un parasite des ratons laveurs et des chiens et dont l'homme est un hôte paraténique. Il est responsable d'une atteinte multi-organiques pouvant aboutir à la mort du chien, et de troubles digestifs, respiratoires, nerveux et oculaires chez l'homme (Bowman et al, 2006) Il est originaire d'Amérique du Nord mais a été importé en Europe et notamment en Allemagne (Küchle et al, 1993). Pour l'instant il n'y a pas de cas rapporté en France, et la prévalence chez les chiens n'est pas connue.

D'après le tableau II, parmi tous les parasites *Ankylostoma caninum, Trichuris vulpis, Toxocara canis* sont les plus fréquents chez les chiens et représentent donc les plus grands risques. Les œufs des deux derniers peuvent résister plusieurs années dans le milieu extérieur, et ceux d'*Ankylostoma caninum* pendant plusieurs mois (Taylor et al, 2007). Ils vont donc être présents dans les espaces accessibles aux chiens. Ce risque est d'ailleurs pris en compte par les villes qui s'inquiètent notamment de la présence de *Toxocara canis* dans les bacs à sable. La législation française impose aux mairies de s'assurer de l'hygiène des bacs à sable sans donner de consignes. Il existe cependant une norme AFNOR (Norme AFNOR XP S 54-207 de mars 1996), que les mairies peuvent suivre. Les conseils qu'elle donne sont les suivants : l'entretien du bac doit être quotidien, avec notamment un ratissage sur 10cm de profondeur tous les jours, et recouvrement par une bâche toutes les nuits. Retourner le sable entièrement tous les trimestres. Changer le sable tous les ans et réaliser un nettoyage complet du bac. Enfin faire une recherche parasitologique et bactériologique, la fréquence devant être proportionnelle à la fréquentation du bac.

Echinococcus multilocularis n'est pour l'instant présent que dans l'est de la France, et est peu fréquent chez les chiens. Les conséquences chez l'homme sont graves et c'est pour cela que des consignes sont communiquées pour éviter la transmission. Par exemples, les vétérinaires vont conseiller une vermifugation particulière pour les chiens se rendant dans les zones où le parasite est endémique.

La majorité les œufs présents dans l'environnement se développeront dans un milieu aérobie pour des températures allant de 0 à 35°C. En absence d'oxygène ou pour des températures n'étant pas comprises dans cet intervalle, l'œuf ne pourra pas passer au stade infestant. Dans le compost traditionnel la température est supérieure à 55°C, permettant la destruction des œufs de tous les helminthes (Feachem et al, 1983).

(4) Les protozoaires

Les protozoaires sont rarement responsables de zoonoses même s'ils peuvent être très fréquents chez les chiens [Tableau III].

Tableau III : Les protozoaires susceptibles d'être transmis à l'homme via les déjections canines d'après Troillet (2014) et Polack et al (2015)

Les protozoaires	Espèces concernées	Fréquence chez le chien	Mode de transmission à l'homme	Maladie chez le chien	Maladie chez l'homme	Sources
Blastocytis spp	Mammifères, oiseaux	3,5%	Ingestion de kystes	Inconnue	Diarrhée, vomissement	El Safadi (2015)
Cryptosporidium spp	Mammifères	7,4%	Ingestion d'oocystes sporulés	Diarrhée plus ou moins hémorragique	Diarrhée plus ou moins hémorragique	Anderson B C (1985) Causapé et al (1996) Claerebout et al (2009)
Giardia duodénalis	Mammifères	4,9% à 6,3% Et 43,9% pour les chiens de chenil	Ingestion de kystes	Asymptomatique ou diarrhée	Asymptomatique ou diarrhée	Anses (2011) Hinney et al (2017) Claerebout et al (2009)

Entamoeba histolytica est pathogène pour l'homme, provoquant des diarrhées plus ou moins hémorragiques ainsi que des troubles hépatiques et nerveux. S'il est principalement retrouvé dans des régions chaudes, il a également été retrouvé dans des jardins en Espagne (Dado et al, 2011), dans des déjections de chats et de chiens. De ce fait il est prudent de penser qu'il pourrait également être retrouvé en France. Pour l'instant une contamination via l'intermédiaire d'un chien n'a pas été rapportée, et les déjections canines ne sont donc pas considérées comme étant un risque pour l'homme.

Il est difficile d'évaluer à quel point le chien est responsable de zoonoses dans le cas de *Giardia duodénalis*. En effet ce protozoaire est classé en plusieurs assemblages nommés de A à G et correspondant à des génotypes différents (Bowman et al, 2010). Chaque assemblage infestera préférentiellement une espèce. Le chien sera infecté par les assemblages C, D, AI et rarement par B, l'homme lui sera infecté par les assemblages AI, AII et B (Tangtrongsup et Valeria, 2010). La transmission entre le chien et l'homme est donc possible mais n'est pas systématique, et la prévalence de ce protozoaire chez le chien est certes élevée, mais seule une partie sera susceptible de transmettre le protozoaire à l'homme.

Dans le cas de *Cryptosporidium spp*, les contaminations humaines sont peut-être sous-estimées. En effet les symptômes chez l'homme étant modérés, l'agent responsable est rarement recherché. De même ce protozoaire est rarement recherché chez les chiens, et donc sa prévalence en France est peut-être sous-estimée.

Ces protozoaires possèdent des formes de résistances dans l'environnement mais qui seront détruites après plusieurs minutes à 55°C (Anses, 2011) (Bruce, 1995).

(5) Les crustacés

Il n'y a en France qu'un seul crustacé susceptible d'être retrouvé dans des déjections canines [Tableau IV]. Cependant il est très rare chez le chien, il y a donc très peu de chances qu'un homme puisse se contaminer au contact de fèces de chiens, le risque zoonotique est donc minime.

Tableau IV : Les crustacés susceptibles d'être transmis à l'homme via les déjections canines d'après Troillet (2014) et Polack et al (2015)

Les crustacés	Espèces concernées	Fréquence chez le chien	Mode de transmission à l'homme	Maladie chez le chien	Maladie chez l'homme	Sources
Linguatula serrata	Les hôtes définitifs sont les carnivores. Les hôtes intermédiaires les herbivores et omnivores.	Très rare	Ingestion des œufs. Ingestion des nymphes dans les foies de moutons et chèvres	Rhinite	Asymptomatique dans le cas de l'ingestion des œufs. Parfois quelques troubles hépatiques mineurs, ou des atteintes oculaires	Basti et al (2011)

Il peut résister dans l'environnement, mais les nymphes sont inactivées après quelques heures à plus de 50°C (Basti et al, 2011).

(6) Les champignons

Il n'y aucun champignon qui est, à proprement parlé, transmis par les déjections canines. Cependant certains champignons présents sur l'animal peuvent se retrouver par contact sur les fèces et ensuite être transmis. C'est par exemple le cas de *Microsporum canis* et *Trichophyton mentagrophytes* qui sont résistants dans le milieu extérieur, et peuvent provoquer des lésions locales chez l'homme par contact. Néanmoins la contamination humaine se fait essentiellement par contact direct avec l'animal, les fèces n'étant pas considérée comme une source d'infection.

b) Les risques dû à l'accumulation de fèces

Si la présence de traces de médicaments peut paraitre anecdotique lorsque l'on ne considère qu'une fèces de chien, l'accumulation de déjections dans un même lieu va permettre une concentration de ces substances.

De nombreuses études se sont intéressées à la pollution environnementale par les médicaments, or il s'avère que toutes les catégories de produits sont retrouvées. Les sources de contaminations sont nombreuses, les principales étant les hommes et les industries (Haguenoer, 2010). Les élevages sont également responsables d'une partie de cette pollution. Il leur a principalement été reproché de rejeter de nombreux résidus antibiotiques, favorisant l'apparition de résistances.

Si ce sujet est aujourd'hui très étudié, l'impact des animaux de compagnie est pour lors inconnu. Il est considéré comme peu important par rapport aux autres sources de contamination (Haguenoer 2010). Or nos animaux domestiques sont de plus en plus médicalisés, mais c'est également une population vieillissante. De ce fait le nombre de chiens ayant des traitements réguliers ne cesse d'augmenter.

Nous pouvons citer les antibiotiques ou encore les anti-inflammatoires qui, même si leur utilisation est raisonnée, vont se retrouver dans les déjections canines. Mais l'on peut également citer les traitements préventifs ou de convenances tels que les antiparasitaires ou encore les traitements hormonaux.

De plus de nouveaux traitements voient le jour, sans que leur impact environnemental ne soit étudié. C'est par exemple le cas de la chimiothérapie métronomique, procédé permettant aux propriétaires de traiter quotidiennement leurs animaux avec des molécules anti-cancéreuses. Lors de chimiothérapies classiques, les vétérinaires sont tenus de garder l'animal 24h et de traiter leurs déjections. Pour la chimiothérapie métronomique, les doses sont plus faibles, mais il parait utopique d'envisager qu'aucun résidu ne soit retrouvé dans les déjections canines. Les différences dans les recommandations concernant ces 2 méthodes de chimiothérapies paraissent donc injustifiées.

Les chiens n'apparaissent pas comme une source majeure de pollution médicamenteuse. Cependant en ville, l'absence d'industries et d'élevages en fait probablement une source importante.

Les risques liés aux déjections canines sont majoritairement d'ordre sanitaire. De nombreux pathogènes peuvent utiliser ce biais pour contaminer l'homme, cependant, pour plusieurs d'entre eux, les cas de contamination humaine sont rares en France métropolitaine. Nous pouvons retenir que les principaux pathogènes sont les helminthes, les bactéries et les protozoaires. Tous n'ont pas la même fréquence ou encore la même pathogénicité. Ceux qui posent actuellement le plus de problèmes sont les *Echinocoques* ainsi que *Toxocara canis*. Ces pathogènes ne sont cependant pas présents dans toute la métropole, et les risques seront donc variables en fonction des régions. Mais le réchauffement climatique, combiné à une mondialisation de plus en plus forte, pourrait augmenter la zone de répartition de ces pathogènes et de nouveaux pourraient arriver en France. Il est donc important pour les villes de surveiller ces évolutions, pour pouvoir s'adapter au mieux. Le rôle du vétérinaire est dans ce cas crucial, car traiter l'animal est le meilleur moyen de limiter la dissémination de ces pathogènes dans les fèces. Mais c'est également lui qui est responsable en tant que prescripteur, de la présence de résidus médicamenteux dans les selles de nos animaux. Ce sujet n'est pour l'instant pas étudié, et seul les antibiotiques font l'objet d'inquiétudes de la part des autorités. Cependant les conséquences des autres produits seraient intéressantes à évaluer, surtout pour les traitements anti-cancéreux.

D. La gestion des déjections canines

Les lois et infrastructures dédiées aux déjections canines sont peu nombreuses. La gestion des déjections en assez floue et de nombreuses libertés semblent être laissées. Cependant de plus en plus d'initiatives sont prises, et de nouvelles façons d'aborder les problèmes ont vu le jour.

1. Les acteurs

Les mairies ou encore les particuliers ne sont pas les seuls à décider du devenir des déjections canines. Les acteurs susceptibles d'intervenir s'avèrent nombreux et sont présents à tous les niveaux de l'Etat.

Le maitre d'œuvre reste l'Etat. En effet il définit les lois et se doit de les faire appliquer.

Le second intervenant est le ministère de l'agriculture et de la pêche. Il gère l'aspect sanitaire de l'animal, et doit donc s'assurer que l'animal ne représente pas un danger sanitaire pour l'homme. Il peut également informer les propriétaires sur les risques que représentent les déjections canines.

L'Assemblée Nationale intervient également. Elle peut proposer des lois ou des modifications de lois. Aucun projet de loi n'est en préparation sur ce sujet actuellement.

Ces 3 intervenants n'ont que peu d'influences sur la gestion quotidienne des nuisances canines.

Les préfectures et les mairies peuvent intervenir quotidiennement. Ce sont également les plus concernées par ces problèmes car elles reçoivent les plaintes des particuliers. Elles doivent s'assurer de la salubrité publique, et notamment que des dispositifs sont en place pour permettre aux propriétaires de respecter la propreté de la voie publique. Elles peuvent aussi créer des programmes ou des installations supplémentaires pour gérer les déjections canines. Enfin ce sont elles qui doivent prendre les mesures nécessaires pour que les villes soient propres et qui s'occupent de la gestion des déchets. C'est donc avec elles qu'ils faut travailler pour améliorer la propreté des villes.

Les commissariats de police et les gendarmeries peuvent également être sollicités au quotidien. Ils constatent les infractions et dressent les procès-verbaux. Ils sont également sollicités lors des conflits de voisinage ou lors de plaintes.

Enfin, le procureur de la République est chargé de la répression. Cependant il n'est que très rarement sollicité.

De nombreux autres acteurs non officiels sont également susceptibles d'intervenir. Par exemple le personnel des mairies peut être sollicité pour trouver des solutions aux problèmes de voisinage provoqués par les déjections canines. Mais il y a également de nombreux collectifs et associations qui proposent des solutions. Les vétérinaires ont également leur importance. Ils peuvent sensibiliser les propriétaires, notamment en les informant sur les risques sanitaires engendrés par les déjections.

Dans la pratique il semblerait que peu de progrès soient réalisés dans ce domaine. De plus les textes de lois sont souvent inconnus des citoyens, et les sanctions rarement appliquées.

2. Texte de loi

Il n'y a que peu d'articles de loi qui concernent la gestion des déjections canines. Sur le thème de l'animal en ville, d'autres préoccupations semblent avoir la priorité. Il s'agit notamment de la gestion des chiens dit dangereux, des animaux errants et enfin du bien-être des animaux. Ces trois points ont fait l'objet de nombreux débats et de plusieurs projets de lois, alors que le problème des déjections canines n'a été que très rarement abordé, voire parfois oublié. Par exemple en 1992 un premier rapport, le rapport de Michaux, aborde ce problème. Ce rapport est ensuite repris et modifié à plusieurs reprises et en 1999 lorsque le rapport définitif rédigé par Louis Le Pensec est publié (rapport n°429), la partie concernant les déjections canines, qui était minoritaire dans le premier rapport, a totalement disparue (Royer, 2012). Ce rapport aboutira à la loi n°99-5 promulguée le 6 janvier 1999.

C'est le code de la santé public qui légifère la gestion des déjections canines depuis 2007. Néanmoins il est possible pour chaque département de prendre des dispositions en plus de celles imposées par l'Etat pour gérer le problème des déjections en ville (Article L1311-1 du code de la santé publique). La loi actuelle (loi n°2007-297) reprend un premier arrêté paru en 1999 (Règlement sanitaire 97 et 122, article 7) qui définissait les lieux où le chien avait le droit de faire ses besoins : les espaces qui lui étaient réservés et les caniveaux. Mais il était aussi précisé qu'il lui était interdit de faire ses besoins sur les murs, les façades, les trottoirs, quais, terre-pleins ou promenades et les espaces verts qui ne lui étaient pas réservés. Mais pour certaines municipalités ces mesures n'ont pas été suffisantes pour améliorer suffisamment la propreté des villes. C'est par exemple le cas de la ville de Lyon qui a rajouté que dans tous les cas le propriétaire est tenu de collecter les déjections et de les placer dans une poubelle adaptée ou dans les égouts (Touraine, « Extrait du registre des arrêtés du Maire ». Référence 41050 - 2009 - 001, 2009.). Cette obligation ne s'applique cependant pas aux personnes munies d'une carte d'invalidité.

3. Sanctions

Dans cette optique d'amélioration il est possible aux agents municipaux habilités de demander aux propriétaires canins la preuve qu'ils pourront nettoyer la voie publique. Comme stipulé dans l'article R.632-1 du Code pénal : « Est puni de l'amende prévue pour les contraventions de la 2ème classe le fait de déposer, d'abandonner, de jeter ou de déverser, en lieu public ou privé, à l'exception des emplacements désignés à cet effet par l'autorité administrative compétente, des ordures, déchets, déjections, matériaux, liquides insalubres ou tout autre objet de quelque nature qu'il soit, y compris en urinant sur la voie publique, si ces faits ne sont pas accomplis par la personne ayant la jouissance du lieu ou avec son autorisation. » Des amendes ont donc été instaurées. Elles sont de 2ème classe, c'est-à-dire de 35€ et pourront être majorées en cas de récidive. Cependant les villes de Lyon et de Paris ont

pris la décision de passer cette amende à 68€ (Site officiel de la ville de Lyon, article 99.2 du Règlement Sanitaire Départemental).

Ces lois sont pour l'instant peu appliquées, et les sanctions sont rares. De ce fait une autre option pour améliorer la propreté des villes serait de réaménager l'aire urbaine. La création d'espaces réservés aux chiens pourrait par exemple être un début de solution.

4. Des initiatives pour encourager les villes à améliorer leur propreté

a) L'échelle de propreté

L'AVPU, qui est l'association des villes pour la propreté urbaine, a récemment publié une échelle de valeur permettant d'évaluer la propreté des villes de façon plus objective. Cette échelle se base sur l'indicateur moyen de salissure pondérée (l'IMSP) qui permet de mesurer la salissure sur 100m^2.

Pour évaluer cet indicateur, il faut répertorier les détritus présents dans une ville. Pour cela les salissures ont été réparties en 12 catégories, les déjections canines représentant l'une d'elle. Les autres catégories sont les suivantes : dépôts sauvages, sacs d'ordures ménagères, papiers d'emballages alimentaires, verres et débris de verres, papiers non alimentaires, mégots, déchets alimentaires organiques, tags, affiches, affichettes, souillures adhérentes (tâches) et feuilles mortes. Des personnes ont alors évalué quel niveau de nuisances attribuer à chaque catégorie, afin de les hiérarchiser. Cette étape permettra de pondérer la valeur associée à chaque salissure, valeur qui se répercutera sur l'IMSP. Les résultats se sont montrés concordants avec les études citées. Les déjections canines étaient considérées comme étant les plus dérangeantes et de ce fait leur présence impactera fortement l'IMSP de la ville évaluée.

Cette échelle prend également en compte les lieux publics dans lesquelles sont trouvés les déchets (parcs, zones de commerces etc…) et l'emplacement exact des détritus (caniveaux, trottoirs). Là encore certains emplacements, tels que les parcs publics, sont considérés comme ayant plus d'importance, et la présence de déjections dans de tels lieux entrainera une forte augmentation de l'IMSP.

La combinaison de ces critères permet d'aboutir à des grilles IOP (indicateur objectif de propretés) (AVPU, 2015). Il est alors possible pour les communes de suivre l'évolution de leur IOP au cours du temps, mais également de le comparer à d'autres villes. Cependant cette évaluation n'étant pas obligatoire, le nombre de villes évaluées est limité. En 2016 une trentaine de villes avaient demandé cette évaluation (Site de l'AVPU), la plus grande ville étant Marseille, la plus petite Champagnole qui compte 8 000 habitants. Plusieurs villes de taille moyenne comme Nantes, Strasbourg ou encore Toulouse ont également évalué leur IOP. Mais pour ces villes, la publication de l'IOP peut être un avantage, puisque cela dénote d'une volonté d'améliorer la propreté de la ville.

Des associations peuvent également utiliser ces résultats. Dans ce cas l'objectif est plutôt d'engager des discussions avec les municipalités autour de l'hygiène des villes. En effet un résultat négatif peut être préjudiciable. Par exemple il est possible que des particuliers se réfèrent à ces grilles pour choisir leur lieu d'habitation, ce qui diminuerait l'attractivité de

certaines villes. De ce fait il est dans l'intérêt des villes d'améliorer leur IOP. Néanmoins ces grilles sont peu utilisées actuellement par le public car elles ne sont pas connues au contraire de certains autres domaines (comme la restauration). Leur impact reste donc limité.

Ces grilles soulèvent également un point important : en effet si objectivement il est possible de classer les salissures et de noter les villes, il apparait que l'impact des déjections auprès de l'opinion publique est bien plus important que tout le reste. De ce fait, malgré tous les efforts des collectivités, s'il reste quelques déjections en ville, la population considérera que la ville est sale. Ainsi même si l'étude répertorie plusieurs types de détritus qui montrent que les déjections ne sont pas les seules responsables de la mauvaise image d'une ville, les préjugés persistent.

b) Mise en place d'un label de propreté

L'objectif pour les villes le demandant est de mettre en avant la propreté de leurs trottoirs. Plusieurs labels pour les villes existent déjà, tels que « ville fleurie » ou encore « ville ou pays d'art et d'histoire », leurs objectifs étant de promouvoir des villes. Dans le même esprit il a donc été créé un label de propreté des espaces urbains, appelé label « Eco-propre ».

Comme pour tous les labels, celui-ci dispose également de critères qu'il est nécessaire de remplir pour espérer l'obtenir. Les villes qui sont susceptibles de recevoir ce label sont celles qui évaluent leur propreté, notamment à l'aide de l'IOP que nous avons vu précédemment. Cependant aucune grille officielle n'est donnée, ce qui laisse beaucoup de libertés aux villes pour s'auto-évaluer. Il faut de plus mettre en place des stratégies pour améliorer cette propreté de façon durable et enfin privilégier la prévention plutôt que le nettoyage. D'autres critères rentrent en compte et permettent d'attribuer des étoiles aux villes, comme le tri, le développement durable etc. Ainsi le fait de mettre en place l'évaluation IOP permet d'obtenir automatiquement la 1ère étoile (AVPU, 2015). Cette démarche a pour objectif de valoriser les efforts des collectivités, et de les encourager à demander ce label.

Les méthodes d'obtention de ce label sont pour l'instant peu standardisées, et les disparités peuvent s'avérer importantes entre deux villes ayant le même nombre d'étoiles. Néanmoins le simple fait de demander ce label oblige les autorités à s'interroger sur leur gestion des déchets.

Comme pour l'IOP, ces données sont pour l'instant peu consultées. L'objectif à long terme est que ce label devienne une référence, obligeant les villes ne l'ayant pas encore à s'y intéresser. Mais le problème ne semble pas être au centre de la politique actuelle, donc peu de publicités est faite autour de ces projets. Le fait que Marseille, une des plus grandes métropoles de France participe au projet peut encourager son développement.

5. La nécessité de réaménager l'aire urbaine

Chaque ville est libre de créer les espaces qu'elle désire, et de nombreuses associations ont proposé leur aide aux mairies pour penser et créer ces espaces. C'est le cas du comité OKA, de l'AFIRAC (association française d'informations et de recherche sur l'animal de compagnie) ou de la FACCO.

Un des premiers plans rédigé visant à améliorer l'insertion du chien en ville a été développé par la ville de Nantes en 1990. Ce projet avait pour objectif de diminuer les nuisances provoquées par le chien tout en améliorant le confort du chien et des propriétaires. Il prévoyait entre autres la construction d'espaces verts réservés aux chiens et la mise à disposition, gratuitement, de dispositifs de ramassage des déjections (Royer, 2012). Depuis ces dispositifs ont été repris et sont mis en place dans la plupart des villes françaises.

Cependant pour qu'ils soient parfaitement efficaces il faudrait pouvoir informer les propriétaires (Parizot, 1991), ce qui engendre un coût que ne peuvent pas payer la majorité des collectivités. Certaines communes comme Versailles ont cependant eu les moyens de mettre en place des cours gratuits pour sensibiliser les propriétaires (Ville de Versailles, 2014). Il faut également que ces espaces soient bien conçus et disposent d'un plan de nettoyage précis car sinon ils ne seront pas utilisés.

a) Création d'espaces dédiés aux chiens.

Ces espaces sont doublement pratiques : en effet d'un côté ils permettent de limiter les lieux où l'on retrouve des déjections et donc de limiter le travail de nettoyage, et d'un autre coté ils offrent un espace de liberté pour les chiens. Néanmoins ils peuvent être de taille restreinte, ne faisant que 10m^2 et de ce fait servant uniquement d'espace de déjection. Au contraire, ils peuvent être de grands parcs dans lesquels les chiens ont la possibilité de se déplacer sans laisse. Toutefois, pour tous ces espaces, il est conseillé de respecter certaines règles. Tout d'abord la nature du sol : il faut préférer un sol en terre avec de l'herbe ou des graviers. Il faut ensuite mettre à disposition des sacs et des poubelles pour les déjections. Enfin il est plus appréciable que le parc soit clôturé et qu'il y ait un point d'eau (Parizot, 1991). Dans le cas contraire, les propriétaires sont moins enclins à les utiliser.

Nous allons détailler les principales infrastructures rencontrées en aire urbaine.

(1) Les parcs

Ces espaces doivent faire au minimum 100m^2 (Grand Lyon, 2005) Ce sont avant tout des espaces de liberté pour les chiens et leur rôle de sanitaires est secondaire. Mais ils permettent de limiter les lieux où les chiens sont susceptibles de faire leurs besoins. Ces espaces sont les plus appréciés des propriétaires (Parizot, 1991), mais ce sont aussi les plus difficiles à mettre en place, car ils nécessitent d'avoir de l'espace disponible.

Dans ces parcs, les propriétaires sont les principaux responsables de la propreté des lieux. Or il s'avère que les poubelles mises à disposition sont efficaces et que la quantité de fèces retrouvées au sol est faible (Grand Lyon, 2005). Ce système est donc apprécié et efficace, mais ce n'est pas le seul disponible.

(2) Les vespachiens

Ces aménagements ont été proposés par L'AFIRAC et sont utilisés dans de nombreuses villes. Ils permettent de créer un espace réservé aux chiens à moindre coût.

Ce sont des espaces de 10 à 20 m^2 avec un sol en petit gravier ou en sable compacté et en son centre une borne en matériau imputrescible [Figure 1]. On peut aussi créer des espaces mobiles qui seront ainsi plus facilement nettoyables et seront déplacés en cas de besoin.

Figure 1 : Vespachien

Enfin il existe des équipements plus coûteux avec notamment la mise en place d'un système de chasse d'eau permettant l'évacuation des déjections directement dans les égouts, mais ils sont rares (Parizot, 1991).

(3) Les canisites

Là encore se sont des espaces de petites tailles, environ 12m^2, situés sur le trottoir ou sur la voirie. Toutefois dans ce cas le sol doit être en pente pour permettre une évacuation naturelle des déjections directement dans le caniveau [Figure 2]. Ces installations sont beaucoup moins fréquentes que les précédentes. Une des raisons est probablement le manque de place disponible dans les villes sur les trottoirs ou la voirie.

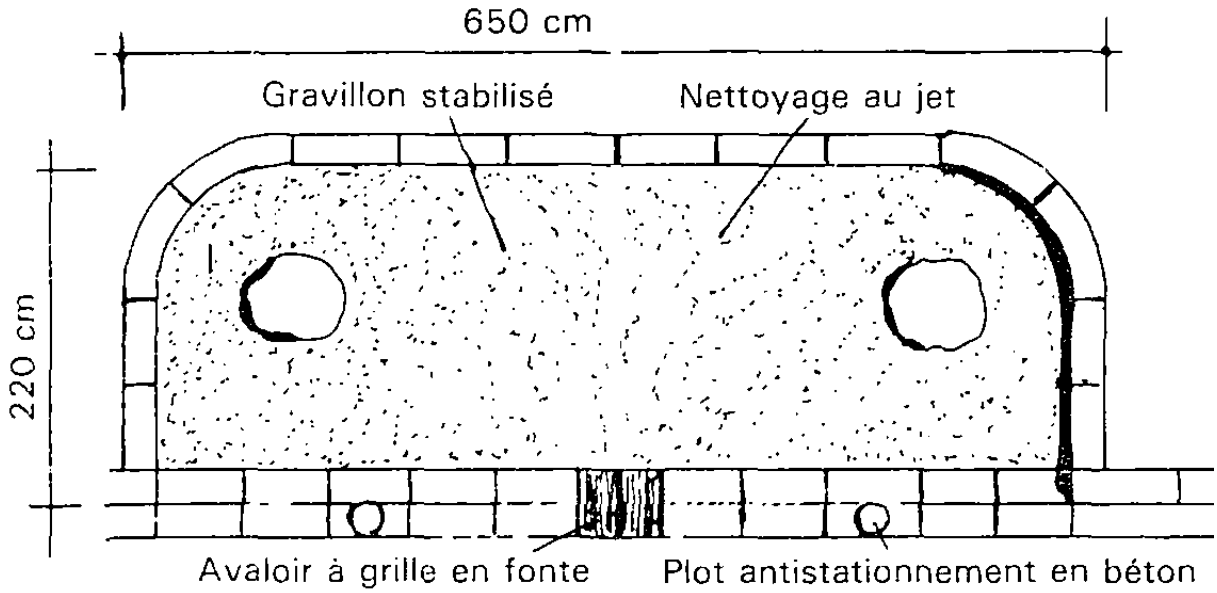


Figure 2: Modèle de canisite d'après Parizot (1991)

Il revient à la mairie de décider de la densité de tels aménagements en ville. Une étude réalisée en 2012 « A propos développement-Culture & Territoire » a répertorié ces aménagements à Paris. Il apparaissait qu'1/4 des arrondissements ne possédaient pas d'espaces verts dédiés aux chiens. Leur installation représente certes un budget, mais leur entretien est facile. De plus intégré à un plan d'urbanisation, ils permettent de réduire la présence des déjections sur les trottoirs, tout en offrant de petits coins de verdures. Ils peuvent de plus être associés à d'autre projets.

b) Autres propositions pour réduire le nombre de déjections canines en ville.

D'autres solutions ont été proposées pour tenter de gérer les déjections. Ainsi jusqu'à présent nous n'avons exposé que des méthodes préventives. Il existe cependant certaines méthodes répressives poursuivant le même objectif.

Parmi ces idées, une proposition consistait à taxer les chiens, en tenant compte de leur taille. Cette méthode n'aurait permis qu'indirectement de réduire la pollution canine, via la réduction de la population canine, mais aussi de par la réduction de la taille de cette population. De plus cela aurait impliqué un contact précoce entre le nouveau propriétaire de chien, et le responsable de l'enregistrement du chien. La nature de ce dernier n'avait pas été défini, mais l'on pouvait imaginer un employé de mairie, éventuellement un vétérinaire, ou encore directement via internet. Ce qui aurait pu être intéressant c'était d'utiliser ce temps pour former le propriétaire sur la notion de propreté canine. Cela aurait également contraint les propriétaires à identifier leur animal, ce qui est obligatoire, mais pas toujours réalisé actuellement.
L'idée n'a cependant pas été concrétisée, car le risque que les propriétaires abandonnent leur chien a été jugé trop élevé (Munck et Adler, 2015).

Enfin il faut noter que d'autres projets ont vu le jour dans le monde. En Israël par exemple, un projet de recensement de l'ADN de tous les chiens a été lancé en 2014 dans l'espoir de confondre les propriétaires non respectueux de la loi (Le monde, 2012). Plus récemment, début 2017, l'Andalousie a rendu obligatoire le recensement ADN de tous les chiens dans les 6 mois, le but étant là encore de réduire les déjections canines sur les trottoirs. Seuls les chiens policiers et les chiens guides pourront être dispensés, les autres devront payer 35€ pour le recensement ou s'attendre à recevoir une amende allant de 110 à 130€ (Streetkleen blog).

Ces mesures nécessitent de recourir à des ressources scientifiques et financières relativement importantes. Leur efficacité n'a pas encore été prouvée, mais si elle l'est, la France pourrait envisager d'imiter ces voisins, avec le risque de privilégier la répression plutôt que la prévention.

c) Exemple de programmes de villes

Nous prenons ici quelques exemples de solutions proposées par des villes européennes. Ces programmes ont souvent été mis en place avec l'aide d'associations, et sont propres à chaque ville.

(1) Le « cluedo » de la ville de Metz

Le projet a débuté en 2015, et c'est surtout concentré sur la communication avec les écoliers. Il s'adresse aux enfants âgés de 3 à 11 ans et se déroule en plusieurs cycles. Il vise en priorité à sensibiliser les enfants dès leur plus jeune âge aux problèmes urbains. Mais par leur biais, il cherche également à atteindre leurs parents, notamment en confiant aux enfants la création de projets à faire à la maison.

Concrètement des activités sont proposées pour chaque classe d'âge, le but étant qu'elles soient ludiques. Elles ont généralement lieu en groupe, et consistent soit en des jeux, soit en l'élaboration de petits projets. Parmi tous les jeux, il en existe un qui concerne les déjections canines. Il s'agit d'un jeu intitulé « la chasse aux crottes » et qui est basé sur le jeu « cluedo ». Le but est de trouver le « coupable » qui n'a pas ramassé les déjections de son chien. Ce jeu ludique permet une sensibilisation des plus jeunes, mais ne convient pas à des enfants plus âgés.

La ville a donc développé d'autres activités autour de ce sujet, moins enfantins. Par exemple au collège le sujet est abordé lors des cours de SVT (science de la vie et de la terre), avec notamment la mise en avant des risques sanitaires. Au niveau des lycées, les initiatives sont encouragées, avec par exemple un petit budget alloué pour des projets consacrés à la propreté urbaine. Des journées de nettoyages sont également organisées avec des étudiants, et des intervenants réalisent parfois des présentations au seins des associations types MJC (Maison des jeunes et de la culture) (Lecocq et Gabriel, 2009).

La ville de Metz a donc fait le choix de sensibiliser ses citadins, et ce en commençant dès l'enfance.

(2) L'application de la ville de Paris

Paris quant à elle a décidé d'utiliser la technologie. En effet depuis 2013 la ville a mis en service une application appelée « DansMaRue » permettant à chaque utilisateur de signaler un problème sur la voie publique. Il suffit à l'utilisateur de signaler le type de problème, de le géolocaliser et éventuellement de prendre des photos. Il doit aussi évaluer le niveau de priorité du problème, et c'est probablement le principal défaut de cette application. Chacun évaluant les désagréments de différentes façons, il n'est pas impossible que des déjections se retrouvent avec la même priorité qu'un canapé abandonné sur le trottoir. Au contraire, un des avantages est de pouvoir localiser les zones où ces déjections sont fréquemment retrouvées, et donc de patrouiller pour espérer verbaliser les propriétaires peu civiques. Enfin l'application permet à l'utilisateur, s'il le désire, de fournir son adresse mail, permettant ainsi à la ville de Paris de le tenir au courant du traitement du problème. Plus les utilisateurs signalent la présence d'une anomalie, plus celle-ci sera crédible et jugée dérangeante.

Entre juin 2013 et août 2014, 50 000 signalements ont été déposés, ce qui représente environ 117 signalements par jour. Parmi eux 77.4% concernaient la propreté, il n'est cependant pas précisé combien concernaient des déjections canines.

Cette application rencontre un certain succès et est toujours en activité. Des améliorations sont envisagées comme la possibilité de permettre à l'usager de proposer des solutions (Mairie de Paris, 2014).

(3) Les initiatives de Bruxelles

Cette fois, il s'agit de plusieurs mesures qui ont été mises en place en quelques années. Comme pour la ville de Metz, les écoliers ont été sensibilisés, mais cette fois via des interventions en classe. Cette méthode, moins ludique, permet néanmoins de responsabiliser les plus jeunes. De plus d'autres types d'activés plus amusantes leur ont été proposées. Elles ont lieu lors de journées de la propreté et sont proposées pour tous les âges. On retrouve par exemple des pièces de théâtre qui abordent le sujet de la propreté urbaine, souvent sur le ton de l'humour. L'ensemble de ces projets est coordonné par un responsable chargé de la communication et de la sensibilisation. Ce poste, créé en même temps que les journées de la propreté, dénote d'une volonté de replacer la propreté au cœur de la politique urbaine. C'est également un moyen d'encourager les initiatives et de promouvoir les activités proposées par la ville (Lammarino, 2015)

Toutefois la prévention n'a pas été le seul axe de manœuvre de Bruxelles. En effet en parallèle de ces activités originales et ludiques, elle a accentué la répression. Pour cela la ville a commencé par augmenter le nombre d'agents de la propreté, et les a incités à sanctionner les frondeurs de façon systématique. Le résultat a été une augmentation du nombre de verbalisations depuis 2006. La ville est passée de 0,4 amende par jour en 2006 à 20 amendes par jour en 2015 (Iammarino, 2015). Certes cette progression est impressionnante, mais cela signifie également que les activités de sensibilisation ne suffisent pas à elles seules à débarrasser les trottoirs des déjections canines. Les journées propretés existant depuis 2008,

nous aurions pu espérer que le nombre de contraventions n'augmenterait pas tant. Il est possible que les enfants ayant grandi avec ces programmes, inversent la tendance. Néanmoins, il faut tenir compte du fait que Bruxelles est une ville attractive, avec un renouvellement important de sa population chaque année (IBSA, 2016). De ce fait il est possible que les contrevenants n'aient jamais participés à ces journées. Continuer à les proposer chaque année permettra de sensibiliser cette nouvelle population.

Chacune de ces trois villes a mis en place des solutions pour sensibiliser la population, selon ses moyens. Ces programmes originaux n'ont cependant pas été repris par d'autres villes pour le moment. Ceci pourrait en particulier s'expliquer par l'absence d'évaluation des résultats de ces politiques. De ce fait aucune idée n'a encore été testée à l'échelle nationale. La majorité des villes se contentent de gérer les déchets selon la législation en vigueur.

Il existe donc un cadre juridique ainsi que de nombreux acteurs susceptibles d'intervenir pour réduire la saleté des villes françaises. De mêmes des solutions sont proposées pour aménager les villes ou encore former les propriétaires canins. Le fait de créer des espaces pour les chiens en ville dénoterait d'une volonté de repenser la ville, non pas seulement comme un espace humain, mais bien comme un lieu de cohabitation. Actuellement cette vision est minoritaire, et les priorités économiques ne concernent pas les chiens. Le manque de place pour créer ces espaces, notamment les parcs, et les coûts nécessaires à leur mise en place, font qu'ils sont aujourd'hui peu nombreux en ville. Ils faciliteraient pourtant la collecte des déchets, et de ce fait permettraient quelques économies. Retenons néanmoins que les 3 villes présentées n'étaient que des exemples, et que les initiatives sont plus nombreuses, et concernent l'ensemble du territoire français.

E. Gestion des déjections par la ville

Nous allons répertorier dans ce paragraphe les différentes étapes nécessaires au traitement des déjections canines.

1. Les objectifs à long terme

Les villes cherchent de plus en plus à réduire leur quantité de déchets, mais aussi à les traiter différemment. Les objectifs suivants ont donc été définis lors du grenelle de l'environnement en 2012 :

- Réduction de la masse des ordures ménagères de 7% par habitant en 5 ans.
- La quantité de déchets partant en incinération ou en stockage doit être réduite de 15%
- Le recyclage doit atteindre les 45% en 2015
- La priorité doit être mise sur le compostage domestique

La diminution et la valorisation des déchets sont donc des questions importantes aujourd'hui. Certains de ces objectifs devraient déjà avoir été atteints, cependant aucune information concernant les données du recyclage n'a pour l'instant été communiquée. De plus les nouveaux objectifs n'ont pas non plus été définis à ce jour.

2. La collecte

La première étape est le ramassage qui doit être organisé par chaque collectivité. Les fréquences de ramassage sont laissées à l'appréciation de chaque mairie. En général, elles vont varier en fonction des lieux. Par exemple à Lyon, elles seront plus fréquentes dans les espaces dédiés aux enfants ou aux chiens (Ville de Lyon, 2003). La mise à disposition de sacs pour ramasser les déjections, et de poubelles pour ces déjections permet de simplifier le ramassage et encourage les propriétaires à nettoyer la voie publique. Les agents responsables de la collecte des fèces sont généralement en motocyclette dans les grandes villes et ne réalisent que cette collecte. Cela engendre un coût important pour les communes. En effet si l'on prend en compte le nombre de chiens présents en ville, et en considérant une élimination moyenne de 300g de fèces et 0.5L d'urine par jour et par animal, cela représente 547.5 tonnes de fèces et 912.5m^3 d'urine par jour à ramasser sur l'ensemble du territoire français (Menigaux, 2004). La ville de Paris devrait par exemple ramasser 16 tonnes de déjections canines par jour (Munck et Adler, 2015).

Cette étape représente un budget et une quantité de temps importante. Elle doit de plus être adaptée aux différents lieux urbains.

a) Au niveau des espaces canins

L'entretien de ces espaces est primordial car sinon ils ne seraient plus utilisés. La fréquence de nettoyage doit être élevée, si possible tous les jours et au minimum trihebdomadaire (Parizot, 1991). La désinfection doit être réalisée tous les mois. Le ramassage est cependant facilité par le fait que les propriétaires de chiens prennent soin de ces espaces, et donc en général la majorité des déjections se trouvent dans les poubelles allouées à cet effet.

Nous pouvons cependant noter qu'aucune consigne n'est donnée concernant les procédés de désinfection de ces espaces. Du fait de la présence d'animaux, les produits à utilisés ne doivent pas présentés de toxicités pour les chiens, et doivent de plus être efficaces en présence de végétaux. Nous avons contacté plusieurs mairies pour nous renseigner sur les fréquences et les produits de désinfections utilisés. Il s'est avéré qu'aucune ne réalisait cette étape car les espaces étaient difficilement accessibles aux machines d'entretiens, et que les sols se prêtaient peu à cet exercice. Seuls les infrastructures minéralisées et facilement accessibles depuis les trottoirs, comme les canisites, sont traitées. Les produits utilisés sont alors les mêmes que ceux destinés à la voirie. Toutefois sur les 18 mairies contactées, seules 6 ont répondu, et de ce fait il est possible que certaines villes réalisent ces désinfections.

b) *Au niveau de la voie publique*

Les déjections seront retirées lors du lavage des espaces publiques, la fréquence est donc propre à chaque ville. Le nettoyage se fait via des machines transportées sur des camionnettes ou sur des motocyclettes. Deux actions entrent alors en jeu : tout d'abord il y a l'action de la pression de l'eau qui réalise un premier nettoyage, et ensuite l'action d'un détergeant bactéricide. Les mairies assurent ainsi un nettoyage et une désinfection de l'espace publique.

3. Le traitement

Les déjections canines sont spécifiquement identifiées dans la circulaire européenne 1069/2009 comme n'étant pas des sous-produits animaux soumis à règlementation. Leur traitement se voit donc simplifié, et peu de contrôles sont effectués. Plusieurs traitements sont possibles, ils varient notamment en fonction du type de collecte.

a) *Le traitement des déjections canines en fonction du type de collecte*

Tout d'abord les déjections récupérées via les machines sur la voie publique sont aspirées et stockées dans des cuves contenant un bactéricide et un désodorisant. Elles sont ensuite traitées avec les eaux usées (Parizot, 1991).

Pour les déjections provenant des poubelles, elles sont considérées par l'ADEME (agence de l'environnement et de la maitrise de l'énergie) comme déchets putrescibles et sont donc admises en tant que déchets ménagers. Elles seront donc incinérées. Il a hélas été rapporté qu'une partie des collecteurs plaçaient ces déjections avec d'autres déchets, ou même les jetaient dans les fleuves des grandes villes pour faciliter leur tournée.

Enfin il est possible de mettre en décharge les déjections canines. Pour certains c'est même la meilleure option, c'est le cas notamment pour le Washington Department of Ecology. En effet il considère que c'est la méthode la plus économique, et présentant le moins de risques sanitaires. De ce fait, dans certains pays notamment aux Etats Unis et au Canada, c'est la principale méthode utilisée pour l'instant (Christy, 2013).

b) *Le coût du traitement des déjections canines*

Il faut noter que les coûts sont élevés pour les communes. Par exemple ils étaient de 590 000€ par an pour Lyon en 2003 (Grand Lyon, 2005). Mais ce coût pourrait être fortement diminué si les propriétaires ramassaient systématiquement les déjections. En effet en 2007 la ville de Bâle avait estimé que le coût de traitement d'une déjection canine par un employé était de 1€ alors qu'il était de 0.08€ si le propriétaire ramassait l'excrément (Munck et Adler, 2015). La main d'œuvre étant plus chère en Suisse les coûts ne sont probablement pas les mêmes en France, cependant si les déjections étaient ramassées par les propriétaires de chiens ils pourraient être fortement diminués.

Les méthodes présentées au-dessus sont celles employées par la majorité des villes françaises. Elles permettent de réduire les risques sanitaires associés aux déjections canines. Néanmoins l'absence de contrôle a permis à certaines dérives de se mettre en place, et aujourd'hui, le devenir des déjections n'est pas toujours évident.

4. Alternatives aux traitements classiques

Celles-ci sont pour l'instant peu nombreuses et souvent expérimentales. Quelques projets ont néanmoins acquis une certaine notoriété, encourageant d'autres villes à leur emboiter le pas.

a) La digestion anaérobie

L'objectif de la méthode est non seulement de traiter les déchets mais également de produire de l'énergie à partir de ces déjections. Pour cela les fèces sont placées dans un conteneur fermé, permettant le développement d'une activité microbienne anaérobie. Les gaz produits sont alors majoritairement constitués de méthane, de dyoxide de carbone, d'eau et de sulphide d'hydrogène (Okoroigwe et al, 2014). Cette méthode est surtout utilisée dans les grandes exploitations, notamment pour traiter les déjections du bétail, et ce dans de nombreux pays tels que la Chine, l'Inde, l'Allemagne, l'Angleterre ou encore les Etats Unis (Christy, 2013). Mais cette production reste limitée (200L de gaz produits pour 7kg de matière) par rapport à d'autres substrats, et la durée nécessaire pour produire ces gaz est plus élevée. De plus l'aspect sanitaire de la méthode n'est pas toujours vérifié. En effet si la quantité de bactéries retrouvées dans le produit final a diminuée, et que certaines bactéries ont totalement disparues, d'autres comme *Clostridium spp* sont encore retrouvées (Okoroigwe et al, 2014) (Ofoefule et al 2010). Le produit final est donc à manipuler avec précaution.

Plusieurs projets utilisant ce principe, ont été réalisés. L'un des plus connus étant « The spark park project » créé en 2010 aux Etats Unis, et qui a fonctionné pendant 1 an. Le conteneur était placé dans une zone réservée aux chiens et ce sont les propriétaires qui plaçaient les déjections dans le conteneur. Un des problèmes qu'il a fallu régler était la nature des sacs utilisés pour ramasser les déjections. En effet ceux-ci devaient être biodégradables mais dans des conditions anaérobies. Des sacs spéciaux ont alors été mis à la disposition des propriétaires, permettant ainsi au conteneur de fonctionner. Ce projet avait pour ambition d'encourager les propriétaires à ramasser les déjections et ainsi améliorer la propreté du parc. Mais c'était également un projet artistique qui a utilisé l'énergie produite pour réaliser diverses activités.

Un projet similaire a vu le jour en 2012 en Arizona, le « E-TURD », et un autre à Melbourne, « the poo power project » (Christy 2013). Un des écueils que ces initiatives ont rencontrés est le manque de motivation, ou d'information des propriétaires. En effet nombreux étaient ceux qui ne voulaient pas se déplacer jusqu'au conteneur et préféraient jeter les déjections dans la première poubelle rencontrée. Il est donc primordial dans ce type de projet de maintenir une communication avec le propriétaire, et de proposer des activités autour du projet. Ainsi Le spark park project a rencontré moins de difficultés car l'énergie

produite était utilisée pour interagir avec les propriétaires, par exemple en produisant du popcorn.

En Angleterre un projet de plus grande ampleur a été mis en place en 2013, le « Streetkleen Bio-project ». Le but cette fois est de traiter les déchets d'une ville et non pas seulement d'un parc. De plus dans ce cas, l'initiateur du projet est une entreprise de traitement des déchets, les moyens mis en œuvre et les objectifs sont donc différents (Christy, 2013). Le projet continue aujourd'hui sans qu'il n'y ait eu pour l'instant de communiqués sur les résultats obtenus.

Cette méthode s'avère pouvoir être utilisée à plusieurs échelles, et peut de plus présenter un aspect ludique et éducatif. Cependant le devenir des résidus pose de nouveau problème, et ces derniers seront probablement traités selon des méthodes plus classiques.

b) La production de biodiesel

C'est un procédé très peu utilisé aujourd'hui et qui n'a été mis en place que pour des études jusqu'à présent. Le but est de réduire la quantité de déchets mais aussi de produire une énergie permettant, entre autres, de diminuer notre utilisation du pétrole. Ce procédé peut être utilisé avec d'autres matières premières comme de l'huile végétale ou de la litière d'élevage avicole (Jaber 2012). L'objectif est d'extraire les lipides du substrat et de les convertir en biodiesel. Pour cela 2 méthodes peuvent être utilisées. Soit les lipides sont extraits directement des fèces, soit un insecte est utilisé comme intermédiaire.

Lors de l'utilisation d'intermédiaires, des larves de mouches soldats noires (*Hermetia illucens*) sont engraissées. Le gras de ces larves est ensuite récupéré, via l'utilisation d'éther de pétrole (Qing et al, 2011). D'autres traitements chimiques tels que l'estérification, sont ensuite réalisés pour obtenir le biodiesel. Cette méthode permet la production de biodiesel, cependant elle n'apporte pas d'avantages par rapport à l'extraction sans intermédiaire (Jaber, 2012).

Il s'avère néanmoins que le procédé ne serait pas rentable du fait du coût du ramassage des déjections canines, d'autant plus si on le compare à d'autres substrats tels que la litière avicole. En effet cette dernière produit plus de biodiesel et est moins chère à récupérer (Jaber, 2012).

c) Les procédés de compostage

Nous pouvons distinguer 2 procédés principaux, ceux faisant intervenir une hausse de la température que nous appellerons compostage, et ceux faisant intervenir un lombric que nous nommerons lombricompostage. Au sein du compostage nous verrons le compostage utilisé pour de grandes quantités et qui est peu développé aujourd'hui, et le compostage individuel.

(1) Le compostage utilisé pour de grandes quantités

Cette méthode est peu utilisée aujourd'hui, mais certains pays comme le Canada ou les Etats Unis possèdent de plus en plus d'installations permettant le compostage des déjections canines. Si le processus de compostage est connu et facile à mettre en place, la question de l'utilisation du compost mature est pour beaucoup une source d'interrogation. Ainsi à Vancouver le compost est utilisé mais seulement sur des plantes ornementales dans des espaces publics non accessibles aux enfants (par exemple sur les ronds-points) (Christy, 2013). Cependant certaines entreprises ont réalisé les tests nécessaires pour prouver que leur compost respecte les normes établis par le pays. C'est le cas de l'entreprise Enviro Wagg (http://envirowagg.com/), qui vend du compost fait à partir de déjections canines et utilisable sur toutes les plantes. Ou encore de Green pet compost company qui ramassent chaque semaine 10 tonnes de déjections canines entre Portlant et Washington (Christy, 2013) pour les transformer en compost.

L'intérêt principal de cette méthode est l'absence de résidus. Cela permet de plus de valoriser une matière qui n'est jusqu'à présent considérée que comme une nuisance.

(2) Le compostage individuel

Du fait de l'expansion de la notion de développement durable, de plus en plus de particuliers ont cherché des alternatives aux traitements classiques des déchets, y compris des déjections canines. Ces dernières années de nombreux blogs et forums se sont ouverts sur la question et les avis sont très divergents. La méthode la plus souvent proposée est le compostage. Mais l'aspect sécuritaire de ce procédé est fortement discuté notamment sur internet. Notons que les personnes tenant ces forums sont souvent des particuliers, n'ayant à priori pas de compétences dans les domaines de la biologie. Les discussions sont principalement orientées sur des questions pratiques, et l'aspect sanitaire est très peu abordé.

Des entreprises se sont également intéressées à ce procédé et proposent à la vente des bacs de compostage prévus pour les déjections canines. Mais dans la grande majorité des notices, il est indiqué de verser sur le compost un produit chimique, dont la nature varie selon les bacs vendus. Le but étant d'assainir le compost obtenu et ainsi de pouvoir l'utiliser sur des plantes qui seront ensuite consommées. Nous avons tenté de contacter 4 de ces firmes (Société Polytrans, Société Jardins animés, Société Morin et la Société Moderndog) pour savoir si elles avaient réalisé des tests quant à l'éventuel pathogénicité du compost obtenu, mais aucun retour ne nous est parvenu. Il n'existe aucune norme française concernant le compost individuel, chacun étant libre de faire ce qu'il veut du compost qu'il fabrique, tant que celui-ci n'est pas mis à la vente. Ces entreprises ne sont donc probablement pas tenues de prouver l'innocuité de leur procédé. Cependant du fait du développement de ces pratiques, il serait utile de réaliser une étude dans le but de vérifier l'efficacité de ces produits.

Des associations de quartier proposent également de composter des déchets, par exemple au sein d'une copropriété. Il est possible de trouver des conseils sur leur site internet, et ces initiatives semblent de plus en plus nombreuses dans les grandes métropoles. Nous avons contacté 3 de ces associations pour leur demander ce qu'elles pensaient du compostage

des déjections canines (Compost à Paris, Rue 89 Lyon, Colibris). Toutes ont précisées qu'elles recommandaient de ne pas placer ces détritus au sein de leur compost car elles estimaient les risques sanitaires trop importants.

Aux Etats unis, le United States Department of Agriculture (USDA) et le Natural resources conservation service (NRCS), ont publié un document recensant les différents moyens de compostages individuels ainsi que leurs avantages et inconvénients (USDA/NRCS, 2005). Ils recensent sept types de composteurs différents que l'on retrouve fréquemment et qui sont répertoriés ci-dessous.

(a) Les composteurs en grille

Les composteurs en grille [Figure 3] permettent une bonne aération du compost et résistent aux attaques des rongeurs. Ils ne sont cependant pas efficaces pour des températures extérieures froides car ils présentent des déperditions de chaleur trop importantes. Ils peuvent être de forme cylindrique ou rectangulaire et ne sont utilisés que pour des petites quantités de compost (un ou deux chiens).

Figure 3 : composteur en câbles

(b) Les composteurs en plastique

Les composteurs en plastique [Figure 4] permettent de composter peu importe le climat. Ils présentent de plus une ouverture en bas permettant de récupérer le compost mature. Cependant ils ne permettent pas une aération optimale du compost, qui n'atteindra donc pas forcément des températures élevées. De ce fait l'assainissement du compost ne peut pas être garanti. Là encore il n'est utilisable que pour des petites quantités de déchets.

Figure 4 : Composteur en plastique

(c) Les composteurs en palettes

Les composteurs en palette [Figure 5] permettent une bonne aération du compost et peuvent être utilisés quel que soit le climat. Cependant il faudra les changer régulièrement car ils peuvent être abimés par les rongeurs et d'autres animaux, et seront détériorés par les intempéries.

Figure 5 : Composteur en palette

(d) Les composteurs rotatifs

Les composteurs rotatifs [Figure 6] sont plus chers à mettre en place mais sont utilisables sous tous les climats. Certains possèdent un tuyau permettant une meilleure aération du compost, mais c'est surtout leur aspect rotatif qui assurera cette fonction. Néanmoins celle-ci reste inférieure à d'autres systèmes, et les températures permettant une hygiénisation du compost ne seront pas forcément atteintes.

Figure 6 : Composteur rotatif

(e) Les composteurs à étages en bois ou en plastique

Les composteurs à étage [Figure 7] présentent les mêmes caractéristiques que les conteneurs en plastique mais sont plus faciles à retourner.

Figure 7 : Composteur à étages, figure de l'étude USDA/NRCS

(f) Les composteurs aérés

Les composteurs aérés [Figure 8] peuvent constituer une amélioration à certains composteurs vus précédemment. Le principe consiste en l'insertion d'un tuyau perforé au sein d'un composteur en plastique ou en bois pour permettre une meilleure aération du compost. Ce système peut lui-même être amélioré en ajoutant une pompe insufflant de l'air dans le tuyau.

Figure 8 : Composteur aéré, figure de l'étude USDA/NRCS

Les organismes ayant communiqué ces données précisent également qu'aucun de ces systèmes n'est assuré d'atteindre une température de 55°C pendant plusieurs jours. De ce fait l'hygiénisation du compost ne sera peut-être pas toujours réalisée. Ils conseillent donc de vermifuger correctement son chien, et pour cela de contacter un vétérinaire pour établir une fréquence d'administration des antiparasitaires adaptée au mode de vie de l'animal. Mais ils recommandent de plus de ne pas placer dans le compost les déjections d'animaux malades. L'étude n'ayant pas cherché la présence de résidus médicamenteux dans le compost mature, leur présence ne peut être exclue, ce qui réduirait d'autant plus les champs d'application potentiel de ce compost.

d) Le lombricompostage

Cette méthode est actuellement très peu utilisée et se retrouve presque uniquement au niveau individuel. Peu d'études ont été réalisées sur le lombricompostage de déjections canines, et l'hygiénisation d'un tel compost est donc incertaine. Ceci n'interdit cependant pas l'utilisation d'un tel procédé par des particuliers.

Nous pouvons nous interroger sur l'engouement autour de tels procédés sur internet. Ainsi sur le site de ENVIRO WAGG (http://envirowagg.com/), un article est consacré au lombricompostage et le présente comme une bonne alternative à la gestion des déchets canins. Néanmoins il n'est nulle part fait mention des éventuels problèmes sanitaires rencontrés. Or cette entreprise a l'approbation du gouvernement américain pour vendre du compost, il apparait donc comme une source fiable d'informations en la matière, encourageant les particuliers à reproduire chez eux le processus.

La gestion des déchets s'avère coûteuse et consommatrice de temps. Les traitements actuels des déjections sont peu satisfaisants, d'autant plus que les consignes données par les mairies ne sont pas toujours respectées. Informer les propriétaires apparait comme le moyen le plus efficace et le moins coûteux pour améliorer la collecte des fèces. Cela permettrait dans le même temps d'améliorer la propreté de nos trottoirs. Les villes et communautés se sont quant à elles penchées sur les différents devenir de ces déjections. Des projets de grandes ampleurs commencent à voir le jour, avec pour principaux objectifs de réduire les déchets et de produire de l'énergie. Nous n'avons pas encore suffisamment de recul pour évaluer la viabilité de tels projets. De même pour certains, les produits obtenus ne sont pas considérés comme exempts de pathogènes. De ce fait la valorisation du procédé reste limitée. Ces considérations sanitaires ne sont par contre pas un frein au développement de projets individuels. Ce sont surtout le compostage et le lombricompostage qui rencontrent le plus de succès. Le nombre d'entreprises vendant des composteurs individuels a augmenté ces dernières années, tout comme la diversité des produits disponibles. Ce ne sont plus seulement les propriétaires de jardin qui sont séduits par ces procédés, mais les citadins également. Désormais au sein des grandes métropoles, il n'est pas rare de constater la présence de petits composteurs sur les balcons.

Le chien en ville est un casse-tête économique, politique et social. Nous nous sommes particulièrement intéressés aux problèmes que posaient les déjections canines. Actuellement très présentes en ville, elles renvoient une mauvaise image de la ville. Elles représentent de plus un danger sanitaire non négligeable. Des bactéries, des helminthes et des protozoaires peuvent être transmis à l'homme par leur biais. Elles contiennent de plus des résidus médicamenteux dont l'impact n'a pour l'instant pas été évalué. Leur présence dans certaines zones urbaines, en particulier les parcs pour enfants, entraine un risque sanitaire parfois non négligeable. De plus s'il est vrai que les propriétaires sont tenus par la loi de ramasser les déjections de leur chien, les sanctions ne sont que très rarement appliquées. De nombreux programmes en amont ont donc vu le jour, leur objectif étant d'éduquer les propriétaires d'animaux pour réduire ce problème. D'autres pays ont fait le choix d'avoir une démarche répressive. Néanmoins aucune étude n'a été réalisée pour évaluer les conséquences de ces projets, et de ce fait nous ne savons pas si ce sont des choix pertinents. Un point reste certain : les quantités de déjections à traiter ont peu de chances de diminuer dans les années à venir. Parmi tous les procédés que nous avons cités, deux semblent bénéficier d'une popularité croissante : il s'agit du compostage et du lombricompostage.

II. Compostage et lombricompostage : comparaison de deux procédés populaires dans le monde.

Le compostage et le lombricompostage sont des procédés depuis longtemps utilisés pour traiter les déchets végétaux. Mais ils sont également couramment utilisés dans le domaine agricole pour traiter les déjections du bétail. Ce n'est que récemment que l'idée de faire de même avec les déjections canines a vu le jour. Les méthodes sont cependant multiples, et toutes n'assurent pas un traitement sanitaire efficace des fèces. Nous allons donc comparer ces 2 procédés, ainsi que les différentes méthodes existantes.

A. Le compost et lombricompost dans la loi française.

Ces 2 procédés sont considérés de la même façon aux yeux de la loi française, les normes les régissant sont donc les mêmes. Seule la norme relative à la montée en température ne concerne que le compostage. Pour plus de facilité, nous utiliserons le terme « compost » pour désigner à la fois le compost et le lombricompost, mais ce uniquement dans les paragraphes qui suivent.

1. Législation française

Actuellement le compostage domestique n'est pas réglementé, seul le compostage collectif est soumis à certaines normes. Notons tout d'abord que les installations en place en France actuellement ne traitent pas des quantités supérieures à 700 tonnes/an, et ne sont donc pas considérées comme des installations classées. Cependant pour les installations dépassant les 5m^3, ce qui correspond à une structure pour 50 familles environ, le règlement sanitaire départemental s'applique. Il spécifie notamment que l'installation doit se situer à plus de 200 mètres des habitations, mais ne spécifie rien concernant les éventuelles nuisances pour les habitants ou l'environnement.

2. Les exigences françaises sur la température

La loi française oblige les établissements de compostage à atteindre une certaine température, et à retourner le compost selon une certaine fréquence [Tableau V].

Tableau V : Consignes de la loi française d'après l'arrêté du 27 juillet 2012_Article 2

PROCÉDÉ	PROCESS
Compostage avec aération par retournements.	Trois semaines de fermentation aérobie au minimum. Au moins trois retournements. Trois jours au moins entre chaque retournement. 55 °C au moins pendant une durée minimale totale de soixante-douze heures.
Compostage en aération forcée.	Deux semaines de fermentation aérobie au minimum. Au moins un retournement (opération de retournement après fermentation aérobie suivie d'une remontée de température à 50 °C pendant vingt-quatre heures). 55 °C au moins pendant une durée minimale totale de soixante-douze heures

Cependant un produit pourra être accepté si une étude prouve qu'il répond aux mêmes exigences de salubrité. Ces normes ne sont pas applicables au lombricompostage.

Concernant le compostage de matières animales, c'est le règlement communautaire CE n°1069/2009 qui s'applique. Les installations doivent alors posséder un agrément sanitaire certifiant que le compost subit une phase d'hygiénisation à 70°C pendant 1 heure. Toutefois des petites installations ne revendant pas le compost obtenu peuvent avoir des dérogations et fonctionner sans cette accréditation (Règlement UE n°142/2011).

3. Normes NF U 44-051

Pour les composts destinés à la vente, ils devront répondre à la norme NF U44-051. Celle-ci devrait bientôt être remplacée par les normes européennes, plus exigeantes que les françaises sur de nombreux points.

La première exigence pour le compost est qu'il doit avoir un taux de matière sèche (MS) 30% supérieur à la matière brute (MB). Il va ensuite recevoir une dénomination différente selon sa nature. Il existe 11 dénominations possibles, nous retiendrons uniquement les dénominations ayant trait au compostage de matières animales et présentées dans le tableau VI. En fonction de la dénomination, les exigences concernant le taux de matière organique (MO) seront différentes.

Tableau VI : Dénomination des composts (NF U 44-051)

N°	Dénomination du type	Mode d'obtention et matières utilisées	Spécifications
1	Fumiers	Déjections animales avec litière	MO ≥ 20 % MB
2	Déjections animales sans litière	Déjections animales sans litière, telles que lisiers et fientes, ayant subi une transformation physique telle que séchage, centrifugation, filtre-presse etc.	MO ≥ 25 % MB
3	Fumiers et/ou lisiers et/ou fientes compostés	Fumiers et/ou lisiers et/ou fientes, bruts ou après prétraitement anaérobie ou physique, ayant subi un procédé de compostage caractérisé ou de lombricompostage avec ou sans ajout de matières végétales	MO ≥ 20 % MB
5	Compost de fermentescibles alimentaires et/ou ménagers	Compost obtenu à partir de la fraction fermentescible des déchets ménagers et assimilés et/ou des déchets alimentaires, collectée sélectivement ou obtenue par tri mécanique, brute ou après prétraitement anaérobie, et ayant subi un procédé de compostage caractérisé ou de lombricompostage, avec ou sans les autres matières répondant aux dénominations de la présente norme	MO ≥ 20 % MB
8	Mélange de matières végétales et de matières animales	Mélange majoritaire de matières végétales (supérieures à 50 % en masse de matière sèche à l'incorporation), contenant des matières animales (conformes à la réglementation en vigueur) telles que phanères, farine de sang, matières stercoraires, déjections animales, etc. ; ces matières animales et végétales peuvent avoir préalablement subi un procédé de compostage caractérisé ou de lombricompostage	MO ≥ 25 % MB
10	Compost de matières végétales et animales	Mélange de matières végétales et animales (conformes à la réglementation en vigueur), brutes ou après prétraitement anaérobie, ayant subi un procédé de compostage caractérisé ou de lombricompostage	MO ≥ 20 % MB

La dénomination N°5 est celle la plus adaptée, car les déjections canines peuvent être considérées comme des déchets ménagers. Nous pouvons constater que dans la majorité des cas, les composts subissent plusieurs traitements, et que peu sont constitués uniquement de matières animales. Réaliser un compost uniquement avec des déjections canines reviendrait à créer un compost N°5.

a) Les métaux

Une exigence supplémentaire que ces composts doivent respecter est la quantité de métaux retrouvés dans le produit final. Les valeurs sont présentées dans le tableau VII.

Tableau VII : Exigences en métaux pour les normes françaises et européennes des composts (ADEME 2013)

	Norme en France	Eco Label EU
	En mg/kg de MS	
Cadmium (Cd)	3	1
Chrome (Cr)	120	100
Cuivre (Cu)	300	100
Mercure (Hg)	2	1
Nickel (Ni)	60	50
Plomb (Pb)	180	100
Zinc (Zn)	600	300

Nous constatons que pour l'instant, les exigences de la France sont inférieures aux normes européennes. Ceci va de pair avec le fait que pour l'instant ce procédé est minoritaire en France, et que de ce fait il intéresse peu les autorités.

b) Les impuretés

La quantité d'impureté est elle aussi mesurée, les normes étant là encore variables selon les pays. De plus la méthode pour mesurer ce paramètre n'est pas imposée, de ce fait comparer les normes de chaque pays s'avère peu pertinent. En France le compost est passé à l'eau de javel, puis la densité des éléments est utilisée comme moyen de tri. Le compost doit alors respecter les valeurs présentées dans le tableau VIII.

Tableau VIII : Limites d'impuretés en France fixées par la norme NF U 44-051

Impuretés	Diamètre	Valeurs limites en %MS
Films + Polystyrène expansé (PSE)	> 5mm	< 0,3%
Autres plastiques	> 5mm	< 0,8%
Verres + métaux	> 2mm	< 2,0 %

c) Les pathogènes

La norme NF U 44-051 définit également les limites des quantités de pathogènes autorisées dans les composts. Les valeurs sont présentées dans le tableau IX.

Tableau IX : Norme NF U44-051 concernant la présence de pathogène dans le compost

Pathogènes	Quantités
Œufs d'helminthes viables	Absence dans 1,5g de MB
Salmonella spp	Absence dans 25g de MB (maraichage) Absence dans 1g de MB (autres cultures)
Escherichia coli	10^2/g de MB (non obligatoire)
Entérocoques	10^2/g de MB (non obligatoire)

Nous pouvons constater que cette norme prend en compte le fait que le compost est destiné à une activité de maraichage ou à d'autres cultures concernant la présence de *Salmonella spp*. Ceci rend difficile le contrôle des infrastructures, car il n'est pas toujours aisé de contrôler quelle sera la destination du compost, et il est donc possible pour une installation de choisir la norme correspondant au « maraichage » car elle est moins contraignante.

Notons enfin que pour les composts réalisés à partir de boues urbaines, il faut respecter la norme NF U 44-095, qui nécessite un dénombrement de *Clostridium perfringens* et *Listeria monocytogenes* (INRA 2013).

d) Les composés trace organique (CTO)

Les valeurs sont présentées dans le tableau X.

Tableau X : Flux limites annuels moyens sur 10 ans et teneurs limites norme NF U44-051

C.T.O.	Flux limites g/ha/an	Teneurs limites mg/kg MS
Fluoranthène	6	4
benzo(b)fluoranthène	4	2,5
benzo(a)pyrène	2	1,5

e) La mise sur le marché

La norme précise également quelles sont les informations qui doivent être présentes de façon systématique sur les sacs de composts destinés à la vente, ainsi que les analyses à effectuer lors de la mise sur le marché du produit.

Ces normes s'avèrent relativement contraignantes pour des petits producteurs, ce qui explique leur faible nombre en France. Si le compostage est un procédé qui attire de nombreuses associations, ou petites communautés, ce n'est donc pas pour l'éventuel profit que l'on pourrait tirer du produit fini.

B. Le compostage

Le compostage est une méthode utilisée pour transformer de la matière organique en un produit riche en humus qui pourra ensuite servir de fertilisant. Cette méthode repose essentiellement sur deux paramètres : la température et la présence d'oxygène. Haug (1980) rajoute de plus à sa définition, que le compost obtenu doit pouvoir être utilisé « *sans impacts négatifs pour l'environnement* ».

Ce procédé est aujourd'hui envisagé comme un moyen de traitement des déchets ménagers, mais aussi des déchets des filières de productions animales. En effet il permet une réduction de la quantité de déchets en termes de volume, et d'odeur (Potvin, 1995) (Sauvesty et Tabi, 1995), et la production d'un engrais non néfaste pour l'environnement. Des pays comme le Canada ont étudié ce sujet. Ils se sont notamment penchés sur le traitement des déchets des filières avicoles, permettant la création de sociétés spécialisées dans ce domaine. Il est d'ailleurs important de noter que les principaux revenus de ces sociétés dépendent du traitement des déchets et non de la vente de compost. Cela montre que pour l'instant le compostage est vu comme un moyen de traiter efficacement les déchets et non pas comme un procédé de production de matière utile. La législation française va d'ailleurs dans ce sens.

1. Le compostage de proximité

Nous l'avons vu, les composts individuels ou appartenant à des communautés de petite taille et non destinés à la vente ne sont pas soumis aux normes françaises. De ce fait le procédé se développe à petite échelle, et l'ADEME fournit quelques conseils aux personnes souhaitant le mettre en place.

Tout d'abord l'accord de la commune mais aussi des habitants est essentiel à la réussite du projet. Il faut désigner des personnes qui seront des référents sur ce projet. L'un d'eux au moins doit avoir des connaissances sur le processus de compostage pour pouvoir être en mesure d'intervenir en cas de défaillance du procédé. L'endroit doit être maintenu propre et être à distance des habitations. Cette distance se verra peut-être réduite du fait de l'espace disponible, ce qui peut engendrer des conflits de voisinage. Le projet doit donc être murement réfléchi et ne peut être mis en place dans tous les quartiers. Un registre doit être tenu pour estimer les quantités traitées, et un affichage doit être apposé sur l'installation pour indiquer quels déchets sont acceptés. Enfin une matière riche en carbone telle que du broyat de bois doit être disponible et régulièrement ajoutée au compost pour assurer un meilleur compostage.

Fin 2006, L'ADEME a décidé de relancer le compostage domestique. Pour ce faire une campagne nationale dans le but de promouvoir cette pratique a débutée, et en 10 ans plus d'un million de bacs de compost individuel ont été distribués. Actuellement un tiers des français a recourt au compostage. Le pourcentage de déchets traités de cette façon serait au plus de 3% de la quantité de déchets domestiques traités par les collectivités. (ADEME 2012)

2. Principe du compostage

Le compostage repose sur la montée en température de la matière organique. Au vu de l'utilisation possible de l'engrais produit, des normes concernant la température à atteindre ont été imposées et varies en fonction des pays. Ces normes ont pour objectifs de s'assurer de l'hygiénisation du compost.

Le compost est le lieu de développement de très nombreux micro-organismes. Les bactéries constituent la population la plus importante, mais des champignons, des algues et des protozoaires sont aussi présents. Tous ne sont pas actifs à part équivalente selon la phase du procédé. De plus en deçà de 30°C, des macro-organismes peuvent également intervenir, tels que des vers, des insectes etc.

Ce microcosme exige certaines conditions pour se développer et pour dégrader la matière organique. Ainsi l'oxygénation, l'humidité et les caractéristiques physico-chimiques des substrats initiaux influenceront la vitesse de formation du compost. Ces paramètres vont également varier tout au long du processus.

a) Evolution du taux d'oxygène

Nous pouvons retenir que le besoin en oxygène des micro-organismes est maximal au début du compostage puis diminue tout au long du processus [Figure 9]. L'aération du compost est donc primordiale au début du processus, mais doit également être présente durant toute la maturation.

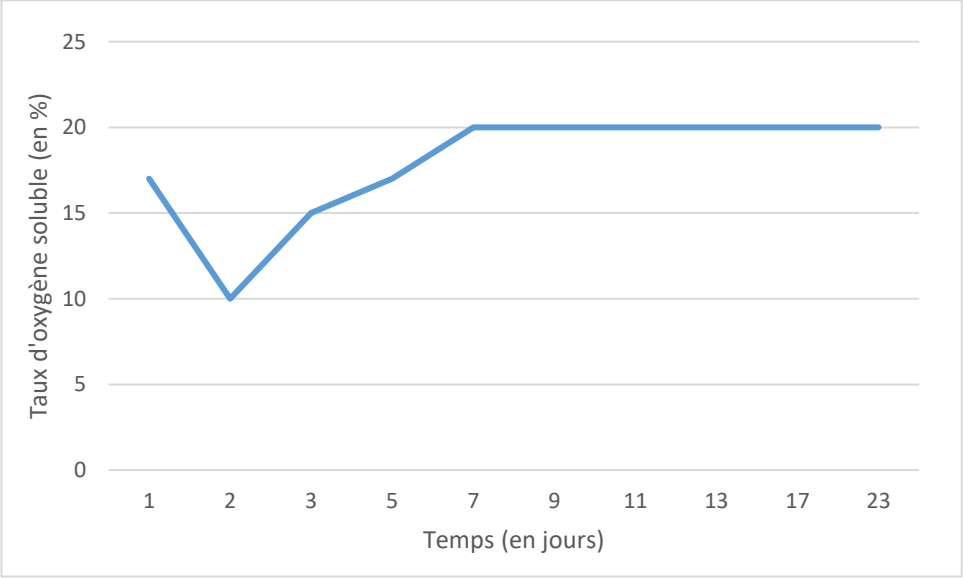


Figure 9 : Allure général de l'évolution du taux d'oxygène soluble dans du compost des boues de traitement des eaux usées d'une unité laitière d'après Bihaoui and al (2010)

Notons également que la consommation d'oxygène est proportionnelle au dégagement de dioxyde de carbone, valeur plus communément prise en compte car plus facile à mesurer.

Ce paramètre représente un coût important du procédé. En effet soit il est nécessaire d'employer de la main d'œuvre pour retourner régulièrement le compost, soit il faut mettre en place des systèmes automatiques qui peuvent s'avérer coûteux.

b) Evolution du taux d'humidité

Le deuxième paramètre important est l'humidité. Si elle descend en deçà de 40-50%, l'activité des microorganismes s'en trouve réduite (Mustin, 1987). Cependant cette valeur n'est pas absolue. En effet il ne faut pas seulement que l'eau soit présente, il faut aussi qu'elle soit accessible. Une valeur supérieure à 50% ne sera donc pas forcément un gage de qualité.

Ce taux peut être amené à être modifié lors du processus [Figure 10]. Au final il sera légèrement inférieur à la valeur initiale. Cependant ce n'est pas le cas lors de toutes les expériences. En effet lors du compostage des boues de traitement des eaux usées d'une unité laitière, Bihaoui et al (2010) ont constaté que l'humidité restait aux alentours de 55% avant de diminuer à 45% après 30 jours. L'augmentation de ce taux en début de compostage ne serait donc pas systématique à tous les substrats.

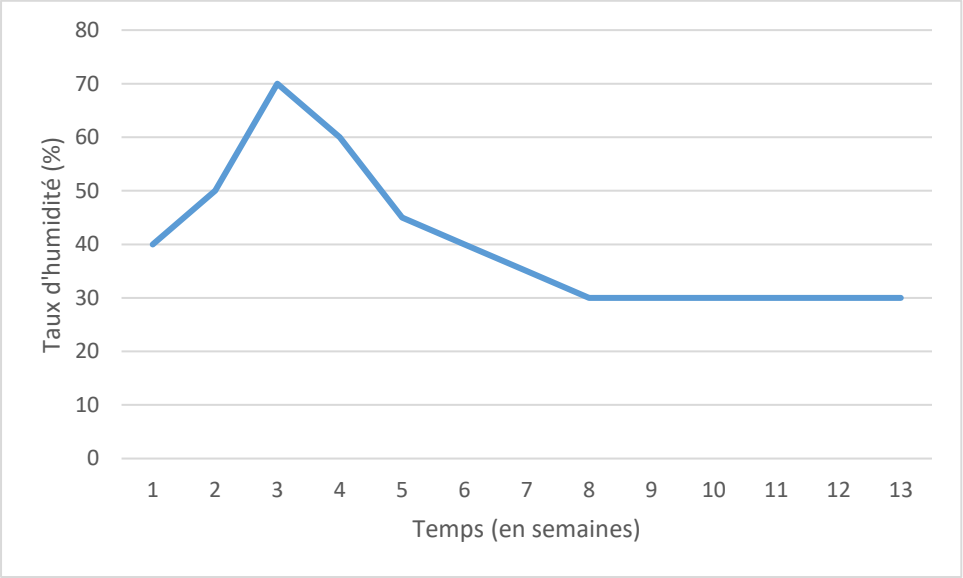


Figure 10 : Allure général de l'évolution du taux d'humidité dans le compost de déchets urbains solides d'après E. Compaoré et L.S. Nanéma (2010)

c) Evolution de la température

Concernant la température, un intervalle est facilement identifiable : elle doit être comprise entre 40°C et 70°C. En dessous l'hygiénisation ne sera pas totale et au-dessus les micro-organismes verront leur activité fortement diminuée.

La température va fortement augmenter en début de procédé, et ce pendant 2 à 3 semaines environ. Elle va ensuite diminuer pour se stabiliser aux alentours de 30°C jusqu'à la fin du compostage [Figure 11].

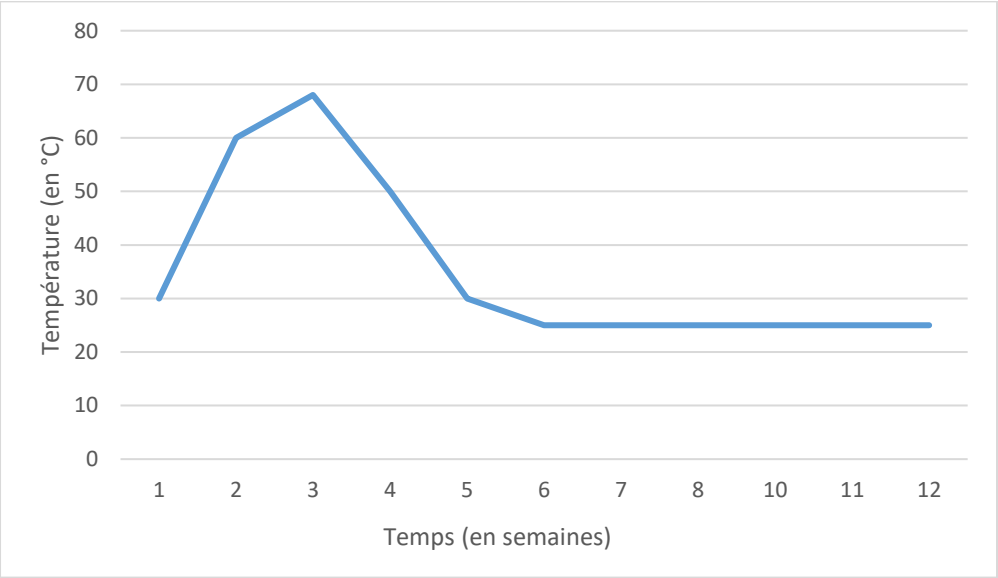


Figure 11 : Allure général de l'évolution de la température de compost en fosse de déchets urbains solides d'après E. Compaoré et L.S. Nanéma (2010)

Cette augmentation peut cependant être plus rapide comme c'est le cas avec du compost des boues de traitement des eaux usées d'une unité laitière (Bihaoui et al, 2010) où la température maximale de 55°C est atteinte en 3 jours, puis rediminue pour passer à 25°C en 1 semaine. Dans cette expérience, le compost était placé dans un bioréacteur ce qui a pu accélérer le processus, tout comme la nature des substrats.

d) Rapport carbone sur azote (C/N)

Le dernier point est probablement le plus difficile à évaluer lorsque le substrat est constitué de déchets organiques puisqu'il s'agit de la composition même de ces déchets. En effet pour espérer avoir le compostage le plus efficace possible, il faudrait utiliser un substrat ayant un rapport C/N compris entre 30 et 35 (Mustin 1987) (Hansen et al, 1993). Ce rapport va ensuite diminuer tout au long du processus jusqu'à atteindre une valeur proche de 10 vers 35 semaines [Figure 12].

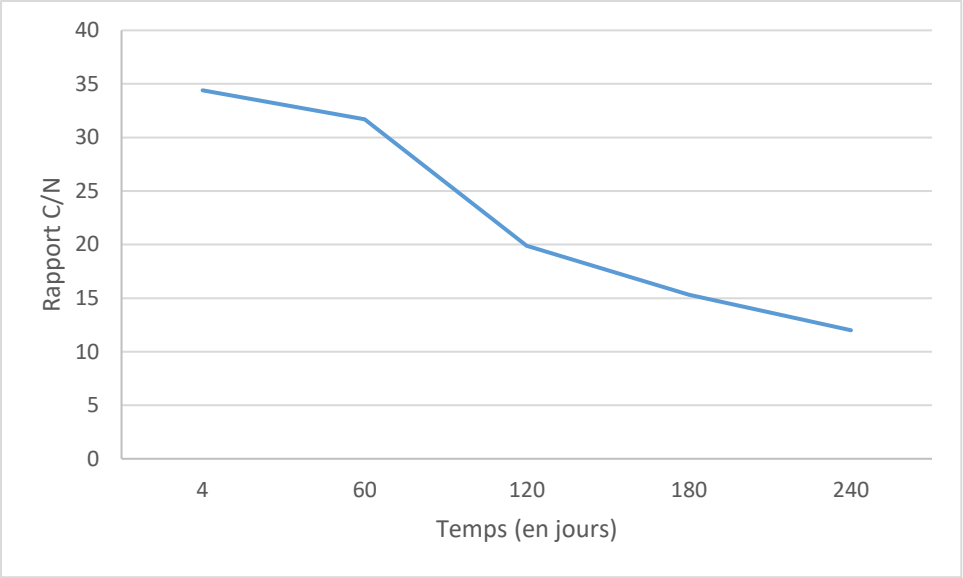


Figure 12: Allure général de l'évolution du rapport C/N du compost d'après Morel et al (1986)

Ces valeurs semblent néanmoins très variables selon les procédés et les substrats. Pour Bihaoui et al (2010), ce rapport passe de 9 à 6 en 20 jours, et pour Zaim et al (2006), de 25 à un peu plus de 15 en 2 mois. La tendance générale est donc à une diminution de ce rapport, avec des valeurs variables.

e) Le pH

Le pH augmente en début de compostage, c'est-à-dire en même temps que l'augmentation thermique. Puis il diminue progressivement au cours du processus [Figure 13].

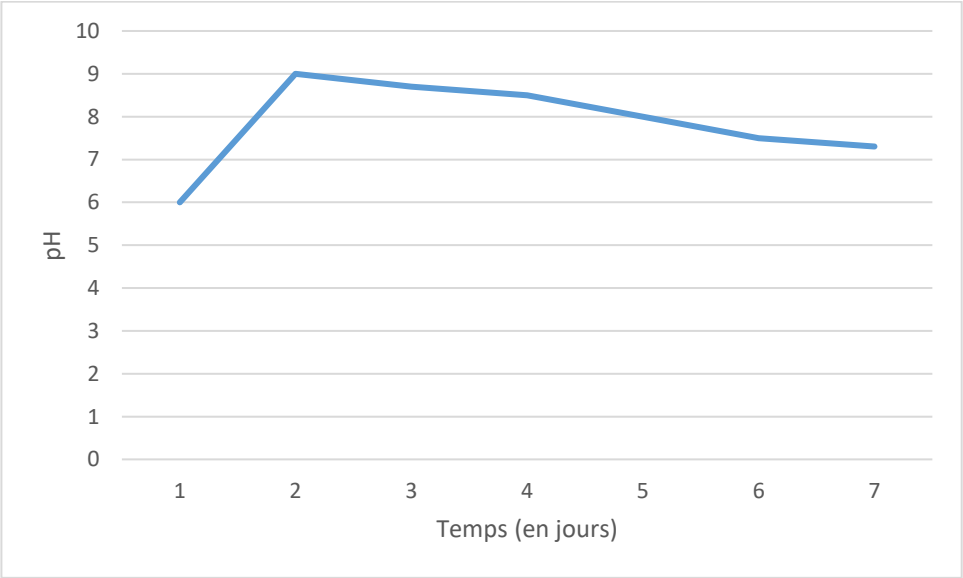


Figure 13 : Allure générale de l'évolution du pH lors du compostage d'après Bihaoui et al (2010)

Lors d'un compostage plus long, la même courbe est retrouvée mais s'étalant sur une période plus longue. L'augmentation de pH étant toujours corrélée à l'augmentation thermique.

La gestion de ces paramètres va permettre une optimisation du compostage et donc l'utilisation industrielle de ce procédé. Cependant il n'existe pas qu'une méthode de compostage.

3. Les différentes méthodes de compostages

La principale caractéristique du compostage est sa montée en température. Tant que le produit atteint la valeur seuil imposée par le pays, tous les systèmes sont acceptés. Nous en retiendrons 3 principaux : les systèmes ouverts, les semi-ouverts et les fermés.

a) Les systèmes ouverts

La principale caractéristique de ces systèmes est que le compost est en contact direct avec l'air ambiant. Mais ce contact seul ne permet pas une bonne oxygénation du substrat. Il faut alors faire le choix soit de retourner de façon régulière le compost, c'est la méthode dite en piles retournées, soit d'injecter de l'air via des tuyaux, c'est la méthode des piles statiques. La première a l'avantage d'être efficace même pour des quantités importantes de substrat, la 2ème permet d'éviter les éventuels dégagements d'odeurs lors du retournement des piles.

b) Les systèmes semi-ouverts

Le substrat est alors placé au sein de silos rectangulaires, eux même disposés au sein de bâtiments. Dans ces systèmes le compost n'est pas soumis aux conditions climatiques extérieures. Cependant là encore la question de l'aération du compost se pose, et c'est la méthode d'injection d'air via les tuyaux qui est retenue dans la majorité des cas.

c) Les systèmes fermés

Ils permettent un contrôle total des différents paramètres traités précédemment. Le substrat est placé dans des bioréacteurs qui sont soit verticaux, soit horizontaux, et de gros volumes peuvent alors être traités. De plus cette méthode est celle qui permet le plus surement le respect des normes imposées, et donc la meilleure hygiénisation possible. Enfin, les bioréacteurs étant complétement clos, aucune nuisance olfactive n'est possible.

d) Le problème des composés organiques volatils

Quel que soit le système choisit pour réaliser du compost, des gaz seront produits pendant le processus. Dans le cas des systèmes ouverts, ces gaz seront rapidement dispersés et n'auront alors pas de conséquences pour les personnes travaillant au sein de l'installation. Concernant les deux autres systèmes, ces gaz vont se concentrer dans les bâtiments. Cependant des études réalisées notamment aux Etats Unis ont démontré que les teneurs en

composés organiques volatils étaient inférieures aux normes au sein des installations de compostage (Keck et Vernus, 2000), et donc a priori sans risque pour la santé humaine.

4. Evaluation du compost

Comme nous l'avons vu précédemment, le compost une fois mature, pourra être utilisé en tant qu'engrais. Un des enjeux du compostage est donc de déterminer quand le compost est prêt à être utilisé (Jimenez et Garcia, 1989). Cet enjeu est d'autant plus important qu'un compost immature sera néfaste pour les plantes. En effet il inhibera leur développement et pourra même être toxique pour la plante dans certains cas. De nombreuses méthodes ont donc été proposées qui peuvent être regroupées en 5 catégories.

a) Les tests physiques

Ceux-ci font partis des tests les plus faciles à réaliser. En effet ils consistent à mesurer la température, l'odeur et la couleur des composts. Les 2 derniers points peuvent cependant être très subjectifs.

(1) La température

Elle varie tout au long du processus, plus précisément elle va augmenter durant les premiers jours jusqu'à pouvoir atteindre 70°C, puis diminuera progressivement. Lorsqu'elle ne variera plus, et ce malgré un retournement du compost, nous pourrons considérer que le compost est mature (Stickelberger, 1975). Notons que la température finale varie selon les auteurs, et de ce fait ne peut pas être prise pour référence. Elle se situe néanmoins en général entre 20°C et 30°C.

Cette méthode ne sera pas utilisée pour le lombricompostage, car comme nous le verrons plus tard, il n'y a pas dans ce processus de pic de température.

(2) L'odeur

Lorsque le compost est mature, aucune odeur désagréable ne devrait s'en dégager, et ce même en cas de retournement du tas. Ce paramètre reste plus suggestif et difficilement évaluable que le précédent.

(3) La couleur

Là encore la méthode est moins précise. Le compost mature doit être marron foncé, presque noir. Cependant avec du matériel, il est possible d'évaluer le spectre colorimétrique du compost et donc de déterminer son degré de maturité (Sugahara et al, 1979). La méthode est précise, mais nécessite plus de matériel que pour la prise de la température. Elle est donc moins communément employée.

b) *L'évaluation de l'activité microbienne*

Cette activité se stabiliserait en même temps que la maturité du compost d'après Morel et al (1985). Plusieurs méthodes sont alors utilisables pour estimer cette activité. La principale est le décompte des micro-oranismes présents, mais il est aussi possible d'évaluer la consommation d'oxygène.

c) *L'étude de la matière organique humifiée*

L'utilisation d'un test chromatographique peut suffire, mais il est aussi possible d'utiliser la photocolorimétrie. Cependant les résultats vont être variables en fonction de la nature des substrats, ce qui en fait un test difficilement interprétable (Morel et al, 1986)

d) *Evaluation chimique*

Les normes de nombreux pays reprennent souvent cette méthode d'évaluation. Ainsi le rapport C/N est traditionnellement utilisé mais ce critère ne peut être qu'indicatif. En effet la comparaison des résultats de plusieurs études révèle que ce rapport est très variable en fonction de la nature initiale des substrats et de la durée de compostage (Jiménez et Garcia, 1988). Ce rapport semble cependant moins variable s'il est réalisé sur l'eau extraite du compost, et peut donc être un critère valable. Notons de plus que les auteurs n'utilisent pas toujours les mêmes critères de mesure, utilisant le carbone total ou soluble par exemple. Ceci augmente encore les différences dans la mesure de ce rapport.

L'évaluation de la quantité de nitrite et nitrate est une autre méthode, ces composés commençant à apparaitre dans le compost entre les 3ème et 4ème mois. Toutefois aucune norme ne définit au-dessus de quel seuil le compost est considéré comme mature.

e) *Utilisation de kits pour les particuliers*

Les méthodes précédentes sont difficiles à mettre en place par des particuliers. Il existe néanmoins des tests utilisables au quotidien. C'est par exemple le cas du « Solvita® maturity test » qui mesure à la fois le dégagement de dioxyde de carbone et d'ammoniac du compost. Ces tests semblent fiables (Changa et al, 2003).

f) *Tests biologiques*

Ces tests se servent du fait que les semences ne sont pas aptes à se développer en présence de composts immatures. Des graines sont alors placées dans des milieux de culture formés à base du compost à tester. Si la graine ne germe pas, le compost est immature et inversement. Cette méthode est certes plus longue, mais très utile lorsque le compost a vocation à devenir de l'engrais.

5. Aspect sanitaire du compost

Dans le cadre des composts répondant aux normes françaises, la destruction des pathogènes est assurée par la montée de température au début du processus. En théorie, aucun des pathogènes que nous avons précédemment cités ne devrait être retrouvé dans les produits finaux.

Plusieurs études vont dans ce sens, montrant la destruction de bactéries telles que *Escherichia coli* ou encore *Salmonella spp*, et *Mycobacterium avium subsp. Paratuberculosis* (Grewal et al, 2006) (lung et al, 2001).

Concernant les virus, ils sont eux aussi normalement détruits par la température. Des études ont notamment confirmé cela sur des virus touchant les cygnes (Turner et al, 1999) et les bovins (Monteith et al, 1986).

Les helminthes sont eux aussi détruits par la température. Ce résultat a notamment été confirmé par Wiley et Westerberg (1969) avec *Ascaris lumbricoides.*

Concernant les protozoaires, les études ont été moins nombreuses. Des kystes de *Giardia* ont bien été retrouvés, mais il n'a pas été déterminé s'ils étaient encore actifs. Au contraire, *Entamoeba histolytica* a bien été détruit (Jones et Martin, 2003).

Enfin concernant les médicaments, des antibiotiques ainsi qu'une hormone, ont été retrouvés pour des quantités de plusieurs µg/kg de matière sèche de compost à base de déjections de vaches et de poulets (Ho et al, 2012). Il est difficile d'évaluer les conséquences pour l'homme de ces quantités qui semblent minimes.

Le compost a été très étudié, et la mise en avant de l'écologie ces dernières années a favorisé son développement. Son utilisation à grande échelle, notamment dans les élevages, en fait un procédé très réglementé. Mais surtout, il n'est pas seulement vu comme un moyen de traiter les déchets, c'est une façon de produire de l'engrais. Certains pathogènes, notamment des protozoaires peuvent toutefois ne pas avoir été inactivés ou détruits par le procédé. De plus la présence de résidus médicamenteux peut également être un frein à l'utilisation de ce procédé sur les déjections canines. Compte tenu de ces risques sanitaires, il serait préférable d'utiliser un autre procédé, et pour certains le lombricompostage serait la solution idéale.

C. Le lombricompostage

Le lombricompostage est un procédé particulier dont l'objectif est la formation de compost via l'aide de lombrics.

1. Introduction au lombricompostage

Le lombricompostage est moins connu que le compostage. Pourtant il est pratiqué dans de nombreux pays du monde (France, Allemagne, Etats -Unis, Cuba, Inde, Nouvelle Zélande etc…) (Edwards, 1995) (Appelhof et al, 1996) et pour de nombreux déchets organiques. Il est cependant principalement utilisé pour les déjections de bovins, ovins, porcins et volailles.

Il repose sur l'utilisation du lombric *Eisenia foetida* et non sur la chaleur pour décomposer la matière organique. De nombreux micro-organismes sont également impliqués dans le processus mais ne seront pas étudiés ici. Ces micro-organismes sont de natures diverses (champignons, protozoaires, bactéries), mais les bactéries sont prédominantes (St Pierre, 1998). Ce procédé est donc assez complexe car pour aboutir à un compost mature, il faut des conditions environnementales compatibles avec la vie de chacun des micro-organismes, mais surtout des lombrics.

2. Quelques consignes pour le lombricompostage

Nous l'avons vu précédemment, pour obtenir un compost réussi il faut respecter certaines règles. Il en est de même pour le lombricompostage. Lors du lancement d'un nouveau lombricompost, le développement des lombrics dans celui-ci n'est pas acquis.

a) Les déchets utilisés

Le lombricompostage est déjà utilisé avec de nombreux déchets d'origine animale, mais il peut de plus être utilisé pour les boues urbaines ou pour des déchets ménagers. Les résidus d'agriculture, d'horticulture, les fruits et légumes, les déchets papiers (Pathma et Sakthivel, 2012) sont aussi des substrats potentiels. Cependant les études se sont d'avantages tournées vers les excréments et il ressort que les déjections de porcs après prétraitement sont les plus propices au développement des lombrics, suivies par les bovins, les chevaux et les canards (Edward, 1985). Comme nous pouvons le constater, les chiens ne font pas partie de la liste. Ceci est principalement dû à l'absence d'études les concernant.

Les déjections canines, tout comme celles des chats, ont une forte contenance en azote, de ce fait leur rapport C/N est diminué (Jaber, 2012). Ce n'est donc pas à priori, un matériau de choix pour le lombricompostage ou le compostage.

b) Mise en place

Contrairement au compostage classique, le lombricompostage nécessite un apport supplémentaire lors de la mise en route : l'ajout de lombrics au substrat. Cet ajout peut se faire de différentes façons. Si un lombricompost a été mis en place à proximité, il est conseillé de récupérer du compost déjà colonisé et de l'ajouter à notre substrat. Cette méthode permet d'apporter non seulement des adultes mais aussi des larves et des cocons, il y aura donc une colonisation plus rapide du substrat, et un démarrage plus rapide de la biodégradation. Cependant s'il ne nous est pas possible de récupérer du compost colonisé, l'ajout des lombrics seuls est possible. Il est important de noter que pour les 2 méthodes, il faudra parfois procéder à un second ajout de lombrics. En effet le lombricompost en cours de démarrage peut parfois atteindre une température trop élevée pour la survie des lombrics. La surveillance du lombricompost au démarrage est donc importante, et retourner le lombricompost au bout de quelques semaines permettra de s'assurer que la population de lombrics s'est bien développée. Il est possible de limiter ce risque en ajoutant des cocons et non des adultes au substrat initial. Ceux-ci étant plus résistants aux températures élevées, ils survivront à la phase thermique du démarrage et écloront lorsque les conditions seront favorables. Si les risques d'augmentation de la température sont jugés trop élevés lors de la mise en place, il vaut mieux attendre 10 à 20 jours avant d'apporter les lombrics. En général la température du compost est alors de 25°C (Nagavalemma et al, 2005).

Pour permettre ensuite le meilleur développement possible des lombrics, il faudra ajouter de la matière organique fraiche de façon régulière au substrat primaire. Une étude réalisée par Reinecke et Vijoen (1990) a démontré que l'ajout de matière tous les 20 jours était optimal à la croissance des lombrics. Dans ce cas précis, les risques d'élévation de la température sont plus faibles, principalement dû au fait de la faible épaisseur généralement ajoutée. De ce fait les lombrics vont pouvoir rapidement coloniser la nouvelle matière. Il leur faut environ 1 semaine pour migrer du lombricompost en place vers le substrat frais ajouté (Chaoui, 2010). Pour que le processus reste efficace, l'épaisseur total du substrat supérieur, c'est-à-dire le substrat frais et le lombricompost non mature, ne doit pas excéder les 30cm. Au-delà l'aération ne sera pas suffisante et les risques d'échauffements trop importants (Chaoui 2010).

Une fois le système mis en place, plusieurs options sont envisageables pour le continuer. Il est possible de choisir un système continu ou un système discontinu, ce dernier étant moins courant. Dans le système continu, de la matière fraiche est déposée sur le lombricompost, les vers migrent dans ce nouveau substrat, puis le lombricompost est récupéré une fois qu'il est mature. Pour ce faire, les systèmes sont souvent équipés de trappes sur leur face inférieure pour pouvoir récupérer le produit mature situé dans la partie inférieure du tas. Mais il est également possible de pratiquer ce système à l'horizontal, en ajoutant de la matière fraiche d'un côté du lombricompost, et en récupérant le produit fini de l'autre côté.

Dans les systèmes discontinus on ne rajoute pas de matière fraiche. Une fois le produit mature, il est séparé des vers, notamment via des filtres, puis utilisé. Il faut alors recommencer un nouveau cycle, mais il est possible de réutiliser les vers précédemment récoltés.

c) *Les prétraitements*

Au sein de la norme NF U 44-051, nous avons pu constater qu'il était possible d'appliquer un prétraitement aux déchets utilisés. Celui-ci peut être de nature diverse, le plus commun étant le traitement thermique. L'objectif est multiple : c'est un moyen de s'assurer de la bonne hygiénisation du lombricompost, mais c'est également parfois obligatoire pour permettre la survie du lombric. En effet pour de nombreux substrats, les teneurs en certains composés (tel que l'ammoniac pour le lisier de porc) ne permettent pas leur développement. Il faudra alors envisager un prétraitement des déchets, notamment une phase thermique allant jusqu'à 70°C. Ceci va permettre l'élimination d'une partie de l'ammoniac, ou de certains pathogènes.

Ce prétraitement peut être constitué de plusieurs étapes comme c'est le cas pour le lisier de porc où il y a notamment l'ajout de sulfate de calcium mais aussi un lavage du compost en plus de la phase thermique.

Ces étapes supplémentaires peuvent représenter un coût non négligeable. De ce fait sélectionner certains types de déchets permet de réduire ce budget, et facilite la procédure.

La mise en place d'un tel procédé peut sembler difficile, pourtant en pratique ce n'est guère plus compliqué qu'un compost classique, et l'entretient est moindre. Les infrastructures sont d'ailleurs très similaires à celles utilisées pour le compost.

3. Les méthodes de lombricompostage

a) *Le procédé en andains*

Les matières sont déposées en tas longs et étroits appelés andains. Ces tas peuvent s'étirer sur plusieurs dizaines de mètres, et seul l'espace disponible limite leur extension. En revanche, ils font moins d'1m de large. Les tas sont laissés ainsi pendant 15 à 30 jours, et c'est seulement à la fin de ce délai que les lombrics sont incorporés. Au fur et à mesure que la décomposition avance et que la hauteur du compost diminue, de nouvelles déjections sont déposées à la surface, la hauteur du compost ne devant pas excéder les 30cm. L'autre paramètre à contrôler étant le taux d'humidité.

Le compost sera mature entre 6 et 18 mois, ce qui en fait un procédé relativement long par rapport au compostage classique. Cependant il présente d'autres avantages. En effet, il nécessite peu d'entretient puisque que les lombrics vont permettre l'oxygénation du compost, il n'y aura donc pas besoin de retourner les tas. De plus ces installations ne coûtent rien à mettre en place. Cependant le compost est exposé aux aléas climatiques, et aux animaux. Quand le procédé est utilisé uniquement avec des déjections, les risques d'attirer les nuisibles sont faibles. En revanche la présence des lombrics peut attirer certains animaux, qui risquent de déranger les tas. Il faudra s'assurer régulièrement que les andains n'ont pas été dispersés.

b) *Le procédé en lombricomposteur*

Les lombricomposteurs sont des récipients qui existent en de nombreux formats. Néanmoins ils restent de taille très inférieure aux andains et sont en général utilisés pour de petits projets. Ces récipients sont fermés mais possèdent des trous sur leur face supérieure, permettant ainsi l'oxygénation du compost, mais également sur la face inférieure pour permettre l'évacuation des liquides produits.

Ces systèmes rappellent les composteurs individuels, et comme ces derniers ils peuvent être fait de matières diverses telles que le bois ou le plastique. Ils ont l'avantage de protéger le compost des conditions climatiques et des animaux.

c) *Le procédé en bioréacteur*

Contrairement au procédé précédent, celui-ci est utilisé pour des projets à grande échelle. En effet dans ce cas, les bioreacteurs sont des conteneurs pouvant accueillir plusieurs centaines de kilogrammes de détritus. Le matériel frais est apporté par des systèmes mécaniques et le compost formé situé en bas du récipient est lui aussi récupéré mécaniquement. Ce procédé nécessite donc peu de main d'œuvre, mais les installations sont coûteuses.

En France ce procédé est utilisé pour traiter des ordures ménagères (Bouché, 1994) (Rida, 1994). La matière organique passe par 2 étapes : tout d'abord elle est biooxydée (utilisation de micro-organismes aérobies pour oxyder la matière) puis lorsque la température est redescendue, elle est amenée aux lombrics. Au final la masse du compost obtenue représente 30% de la masse initiale.

Notons enfin que ce procédé est plus rapide que le procédé en andains car il faut 4 mois pour obtenir le lombricompost.

De nombreux points rapprochent ce procédé du compostage classique. La vraie différence se situe dans l'absence de phase thermique et l'utilisation d'un lombric.

4. *Eisenia foetida*

Les lombrics sont répartis selon 3 classes : les anéciques, les endogés et les épigés. Parmi les 3, les épigés sont les moins nombreux et sont les seuls qui vivent hors du substrat minéral du sol. On les retrouve donc dans l'humus et les composts principalement, où ils sont responsables de la décomposition de la matière organique (Edward, 1995). Au vu de ces caractéristiques, c'est *Eisenia foetida*, un épigé, qui est sélectionné pour réaliser le lombricompostage. Cette espèce présente de plus d'autres avantages. En effet elle est naturellement retrouvée dans les déchets organiques en France, et se développe rapidement. Enfin elle résiste à des températures comprises entre 0 et 35°C et est considérée comme l'espèce la plus efficace pour la réalisation du compost (Garg et al, 2006). Les adultes mesurent

entre 50 et 120mm de long pour 2 à 4mm de diamètre et pour un poids compris entre 200 et 600g. Ils sont composés à 80% d'eau.

Son tube digestif contient du mucus riche en polysaccharides, en acides aminés et en micro-organismes tels que des bactéries, des protozoaires et des champignons. Mais aussi de nombreuses enzymes telles que des amylases, des cellulases, des protéases, des lipases, des uréases et des chitinases (Pathma et Sakthivel, 2012). Il consomme quotidiennement 75% de son poids en substrat. Pour certains auteurs cette valeur est plus importante puisqu'il pourrait aller jusqu'à 1,5 fois son poids en 24h (Eastman et al, 2001).

Ce lombric n'est cependant pas le seul utilisé. D'autres espèces comme *Lumbricus rubellus, Eudridus eugeniae, Perionyx excavatuse* et *Eisenia andrei* peuvent convenir pour réaliser du lombricompostage. Il est de plus possible d'envisager l'introduction de plusieurs espèces au sein d'un même lombricompost. L'efficacité serait alors augmentée d'après Suthar et Singh (2008).

a) Conditions environnementales optimales

Lors du lombricompostage, les paramètres doivent permettre aux lombrics de vivre mais aussi de se développer. Les indicateurs tels que l'humidité ou la température ne pourront pas subir de trop grandes variations au risque de voir le procédé échouer.

En premier lieu il faut s'intéresser à la composition du compost. Celui-ci doit contenir les éléments nécessaires à la nutrition d'*Eisenia foetida*, notamment de la cellulose, de l'azote ainsi que des minéraux et des vitamines d'origine microbienne. Le rapport C/N optimum pour le développement du lombric est de 21 à 30 (Ndegwa et Thompson, 2000). Il n'est cependant pas toujours évident de mesurer ce rapport, il faut donc l'estimer et apporter des éléments riches en azote ou en carbone pour tenter de l'équilibrer. Mais si la présence de ces substrats est essentielle, il faut d'un autre côté, que certains ne soit pas présents en quantité trop importante. Ainsi *Eisenia foetida* tolèrera jusqu'à 0,5mg d'ammoniac par gramme de matière organique, mais ne pourra pas se développer au-delà (Edwards, 1995).

Des bactéries, des champignons, des protozoaires et des nématodes peuvent rentrer dans son régime alimentaire.

Les autres paramètres influençant le développement du lombric sont la température, qui doit se situer entre 5°C et 42°C, l'humidité qui doit être entre 55 et 85% (Suthar et Singh, 2012), le pH qui doit se situer entre 6,5 et 8 et le taux de salinité inférieur à 0,5%. Il faut cependant noter qu'*Eisenia foetida* se développera plus rapidement lorsque la température sera proche des 25°C (Hait et Tare, 2011) et l'humidité de 85%. Ces valeurs sont cependant variables selon les auteurs et par exemple pour Edwards (1995), la température ne doit pas excéder 30°C. Enfin le lombric est un être aérobie, il faut donc que l'apport de matière sur le lombricompost soit limité pour éviter la création d'un milieu anaérobie. La densité de la matière doit également permettre aux vers de se déplacer au sein du substrat, elle doit avoir une densité inférieure à 640kg/m^3.

Lorsque ces conditions sont réunies, *Eisenia foetida* peut se reproduire jusqu'à quatre fois dans l'année et vivre pendant 4 à 5 années. Il faut cependant noter que sa reproduction est dépendante de sa densité de population. En effet dans le cas où cette densité est faible, il se reproduira pendant 1 an, alors que cette période ne sera que de 6 mois si la densité est élevée. De plus il ne faut pas que la densité de vers dépasse 250 vers/L. Cette information est surtout pertinente lors du lancement du projet, puisque par la suite la population s'autorégulera.

Les cocons contenant les vermisseaux sont déposés près de la surface et mesure de 2 à 3mm et écloront si les conditions précédemment citées sont réunies. Le substrat nouvellement déposé sur le lombricompost sera donc rapidement colonisé par ses nouveaux individus.

L'étape la plus sensible du lombricompost reste le démarrage car les risques d'augmentation de la température sont élevés. Cependant de nombreux autres paramètres peuvent faire échouer le développement des lombrics, nous obligeant à ré-ensemer régulièrement le substrat.

b) Place d'Eisenia foetida *dans le compostage*

Les lombrics sont depuis longtemps connus pour améliorer la fertilité des sols, leur utilisation dans la création de compost apparait de ce fait comme étant logique. Ils ne sont cependant pas les seuls organismes responsables de la dégradation des matières organiques. En effet tout comme dans les méthodes classiques de compostage, de nombreux organismes sont présents et actifs. Les lombrics vont donc réaliser une partie du travail, mais ils vont de plus augmenter l'activité biologique de certains micro-organismes (Pathma et Sakthive, 2012). Leurs déplacements provoquent une aération naturelle du compost, rendant inutile le retournement du tas de lombricompost, mais permettent aussi un accroissement de l'activité microbienne aérobie. De plus lorsqu'ils ingèrent la matière organique, ils vont provoquer une dégradation mécanique de cette matière.

Le substrat passe dans le gésier du lombric où il va être réduit en poudre et va subir des premières transformations du fait des actions d'enzymes et de micro-organismes principalement. Puis il passe dans le tube digestif du lombric où l'action d'autres micro-organismes permettra la formation d'un lombricompost immature. Il sera ensuite modifié par les microorganismes présents dans le milieu jusqu'à sa maturation (Pathma et Sakthivel, 2012).

Une étude réalisée en 2014 (Huang) s'est intéressée aux différences de résultats observés en fonction des différents stades de vie du lombric. Il s'avère que les larves produisent le compost le plus stable et celui contenant le moins de micro-organismes, mais que ce sont les jeunes adultes qui produisent le compost le plus riche pour les plantes.

c) *Influence sur les populations du lombricompost*

Contrairement au compostage classique, l'hygiénisation de la matière ne peut pas être réalisée via l'augmentation de la température, les lombrics seront donc les seuls susceptibles de modifier les populations microbiennes présentes. Ces populations sont de natures diverses, mais nous nous intéresserons principalement aux bactéries, virus, helminthes et champignons.

(1) Evolution de la biomasse lors du lombricompostage

Les études présentent des résultats très différents, que ce soit au niveau de la nature ou de la quantité des microorganismes présents dans le lombricompost. Une des explications possibles étant que les substrats initiaux sont de natures très différentes. Le problème étant que l'on aboutit à des résultats contradictoires selon les études. Ces résultats sont répertoriés dans les paragraphes qui suivent.

Nous avons déjà évoqué le fait que les lombrics présents dans le compost favorisent l'activité microbienne, mais dans le même temps des études ont constaté la diminution de la biomasse des bactéries et des champignons au cours du processus de lombricompostage (Gomez-Brandon et al, 2011) (Huang, 2014) (Nagavallemma et al, 2004) (Gómez-Brandón et al, 2013) (Lazcano et al, 2008). Cette action est d'ailleurs plus marquée sur les champignons, et serait due au fait que les lombrics les consomment plus que les bactéries. Cette diminution s'étendrait également à certains protozoaires et levures qui feraient partie de l'alimentation du lombric et seraient donc totalement digérés par ce dernier (Edward et Fletcher, 1988).

Mais une étude réalisée sur des déchets de fruits et légumes frais a démontré que la quantité de bactéries et de champignons augmentait lors du lombricompostage (Huang 2014).

La majorité des auteurs s'accordent cependant pour dire que la diversité des populations microbiennes augmente lors du processus (Nagavallemma et al, 2004) (Huang, 2014). Cette augmentation est plus importante au niveau des populations bactériennes, et secondairement au niveau des populations fongiques.

Les études constatent de plus que la nature des micro-organismes change au cours du lombricompostage. D'après Kale et al (1992), les micro-organismes retrouvés dans le milieu de vie des lombrics sont les mêmes que ceux qui composent leur flore intestinale, cela suggèrerait une activité microbienne intense dans le tube digestif du lombric (Toyota et Kimura, 2000). La compétition microbienne aurait alors lieu à 2 niveaux : dans le tube digestif même du lombric, mais aussi au sein du compost puisque celui-ci est peu à peu colonisé par la flore du lombric.

Mais d'autres micro-organismes sont également retrouvés, leur nature varie cependant en fonction des études (Huang, 2014) (Pathma et Sakthivel, 2013). Il semblerait que la quantité de champignons et de bactéries détruisant les nématodes des plantes augmentait dans le lombricompost, de ce fait l'application de lombricompost sur des plantes permet de diminuer significativement les nématodes présents. Ceci a notamment été réalisé avec du lombricompost à base de déjections bovines (Arançon, 2002), et des populations de

Meloidogyne javanica et *Meloidogyne incognita* ont diminuées sur les plantations. Mais ces populations sont aussi en diminution lors de l'utilisation de compost (McSoler et Gallaher, 1995), ce qui remettrait en question le rôle d'*Eisenia foetida* sur ce résultat.

Finalement en fonction des conditions, la quantité de bactéries et de champignons présents dans le lombricompost est très variable. Elle peut diminuer (Huang, 2014) (Edwards, 1995), augmenter (Scheu, 1992) (Huang, 2014) et même rester constante (Daniel et Anderson, 1992)

(2) Evolution de la population virale

Lalander et al (2013), constatent que la population de coliphages n'est pas affectée par la présence de lombrics. Il semblerait que le lombric en lui-même ne puisse pas avoir d'action sur les virus.

Cependant le résultat contraire est également rencontré, puisque la quantité de virus entérique serait réduite de 4,6 log au cours de ce procédé (Burge et al, 1987) (Masciandaro et al, 2000) (Lotzof et al, 2002). De même Amaravadi et al (1990) ont testé les effets de la présence de lombrics sur deux virus nus responsables de maladie chez les plantes : le virus de la mosaïque du Niébé et le virus de la mosaïque du tabac. Leurs résultats tendent à montrer que les lombrics possèdent une enzyme permettant l'inactivation des virus (diminution du caractère infectieux des 2 virus).

(3) Evolution de la population fongique

Les lombrics consomment de préférence certaines espèces fongiques, dont celles pathogènes pour l'homme (Curry et Schmidt, 2007), et de plus leur présence favorise le développement de *Streptomyces spp* qui diminue la population de champignons pathogènes (Jayasinghe et Parkinson, 2009) (Pathma et Sakthivel, 2013).

Cependant tous les champignons pathogènes ne sont pas éliminés, certains sont retrouvés dans le produit final. C'est le cas de *Pseudallescheria boydii* et *Aspergillus fumigatus* (Anastasi et al, 2005) ou encore *Scedosporium spp* (Grantina-levina et al, 2013). Une étude de Bonito et al (2010) a d'ailleurs démontré que dans le produit final les groupes de *Sordariomycetes* et *Pezizomycete* sont les principaux champignons retrouvés, et ce quel que soit le substrat initial. Or il s'avère que l'on retrouve des champignons pathogènes pour l'homme au sein de ces groupes, l'étude n'ayant pas identifié les espèces retrouvées, il est possible que ces pathogènes en fassent partie.

(4) Evolution de la population bactérienne

Cette population est celle ayant été le plus souvent étudiée. Les méthodes principalement utilisées pour dénombrer et évaluer les populations bactériennes sont la PCR et la PCR DGGE. Les bactéries peuvent également être détectées par mise en culture (Contreras-Ramos et al, 2004).

Le lombricompostage permettrait la diminution de certaines populations de bactéries pathogènes. C'est par exemple le cas d'*Escherichia coli* (Edward et Fletcher, 1988) (Rodríguez-Canché et al, 2010), qui rentrerait dans l'alimentation du lombric. De même *Salmonella spp* et les coliformes seraient moins nombreux dans le produit final (Contreras-Ramos et al, 2004). En effet la présence du lombric permettrait de diminuer jusqu'à 5 fois leur population. Ces populations pourraient même devenir indétectables après 60 jours de lombricompostage de biosolides (Kumar et Sekaran, 2005).

Ceci serait permis par des agents bactéricides présents dans son cœlome ou par des phénomènes compétitifs entre ces bactéries et la flore digestive du lombric (Edwards, 1995) (St Pierre, 1998).

Enfin des essais ont été réalisés en traitant des déchets médicaux via cette méthode. Les résultats indiquent que des bactéries pathogènes telles que *Staphylococcus aureus, Proteus vulgaris* ou encore *Pseudomonas pyocyaneae* ne sont plus retrouvées dans le lombricompost (Mathur et al, 2006).

Notons de plus que les populations bactériennes consommées par les différents âges de lombrics ne sont pas les mêmes. Ainsi dans un compost contenant tous les âges, nous pouvons espérer qu'un plus large spectre de bactéries sera consommé (Huang, 2014).

Nous ne connaissons pas précisément les mécanismes responsables de ces diminutions. Les hypothèses de compétitions bactériennes et de substances bactéricides (Contreras-Ramos et al, 2004) ont déjà été évoquées et sont les principales pistes étudiées. La compétition bactérienne serait par ailleurs accentuée par l'absence de montée de température du lombricompost. En effet les populations bactériennes ne seraient pas réduites, permettant à des bactéries normalement absentes du compost d'entrer en compétition avec des bactéries pathogènes (Chaoui, 2010).

A l'opposé de ces diminutions, certaines bactéries voient leur effectif augmenter. En effet, le tube digestif du lombric semble être pour certaines bactéries un milieu propice à leur multiplication et à leur activité. Parmi elles certaines bactéries sont favorables au développement des plantes telles que *Pseudomonas, Bacillus, Rhizobium, Azosprillium, Azobacter, Rhizobacteria*. Nous pouvons également citer *Pasteuria penetrans*, et *Trichoderma spp* qui voient leur activité stimulée. Or il s'avère que ces bactéries diminuent la quantité de nématodes pathogènes pour les plantes (Pathma et Sakthivel, 2012). Enfin dans le lombricompost à base de fruits et de légumes, de nombreuses bactéries des genres *Streptomyces* et *Rhodococcus* sont retrouvées, notamment des espèces ayant les capacités d'éliminer les pathogènes des plantes (Huang, 2014).

Le lombricompost apparait comme un bon moyen de traiter des déchets comprenant des bactéries pathogènes pour l'homme. De plus il joue le rôle d'engrais et de pesticide.

(5) Evolution de la population d'helminthes

Le devenir des helminthes est un point essentiel, car ils représentent un risque majeur des déjections canines. Le problème étant que les résultats des études sont divergents [Tableau XI].

Pour certains auteurs, ce procédé réduit la quantité d'œufs d'helminthes (réduction de 1,9 Log) (Lotzof et al 2002), voir les élimine totalement après 70 jours de compostage (Rodríguez-Canché et al, 2010). L'étude d'Eastman et al (2001) concluait également à une diminution significative d'œufs d'helminthes en présence de lombrics. Cependant pour Bowman et al (2006), les résultats de l'étude d'Eastman et al sont difficilement interprétables car les données chiffrées semblent incohérentes.

A l'opposé, de nombreuses études semblent remettre en cause cette diminution, comme c'est le cas pour Bowman et al (2006) pour qui la présence d'*Eisenia foetida* ne diminuerait pas la quantité d'œufs d'*Ascaris suum*. De plus certains nématodes sont connus pour avoir des lombrics comme hôtes parénétiques, c'est par exemple le cas d'*Héterakis gallinarum* (Bowman et al, 2006). Cependant pour d'autres comme *Toxocara cati* et *T.canis*, le lombric n'est généralement pas considéré comme étant un hôte. Des larves de ces parasites ont cependant été retrouvées dans la chair de lombric, notamment d'*Eisenia foetida* (Okoshi et Usui, 1968). Ces larves peuvent ensuite infecter d'autres hôtes, et un cas humain a été répertorié suite à l'ingestion d'un lombric (Bowman et al, 2006).

La survie d'œufs d'*Ascaris lumbricoides* et de cestodes *Taenia* serait favorisée en présence de lombrics. Ceci serait dû au fait que lorsque ces œufs sont dans le tube digestif des lombrics, ils ne sont pas attaqués par des champignons, et ont donc plus de chances de survivre (Bowman et al, 2006). Il n'y a pas actuellement de connaissances sur d'éventuels atouts que possèderaient les lombrics pour la destruction d'œufs d'helminthes. Il est cependant possible que dans le lombricompost final, la quantité d'œufs d'helminthes ait diminuée car ils sont dans le tube digestif du lombric, or celui-ci est séparé du compost final dans la majorité des cas.

Tableau XI : Effet du lombricompostage sur les populations d'helminthes

Source	Substrat	Date des prélèvements	Méthode de détection	Résultat	Remarque
Eastman et al, 2001	Biosolide (de 15 à 20% solide), de la tourbe et ajout d'œufs d'*Ascaris suum*	144 heures	Inconnue	Réduction de 1,9log des œufs d'helminthes	Réduction de 0,6log sans les lombrics. Résultats contestés par Bowman et al (2006)
Lotzof et al, 2002	Biosolide et déchets verts	60 jours	Inconnue	Disparition des œufs d'helminthes	
Rodriguez-Canché et al, 2010	Boue d'épuration	60 jours	Norme officielle mexicaine	Disparition des œufs d'helminthes	Disparition des œufs d'helminthes dans le test sans lombrics.
Contreras-Ramos et al, 2006	Biosolide, fumier de vache et paille	0 jours 60 jours	Méthode USEPA	Pas d'œufs d'helminthes détectés à 0 et 60 jours	
Bowman et al, 2006	Terreau de rempotage et ajout d'œufs d'*Ascaris*	1, 5, 11, 13, 14, 18, 28 et 183 jours	Centrifugation, tamisage et observation au microscope.	Pas de réduction du nombre d'œufs après 183 jours	
Bowman et al, 2006	Terreau de rempotage et ajout d'œufs d'*Ascaris*	7 jours 6 mois	Centrifugation, tamisage, incubation et observation au microscope.	93% d'œufs viables 77,2% d'œufs viables	Pas de différence avec ou sans lombrics.
Okoshi et Usui, 1968	Terreau et ajout de *Toxocara leonina*	6 jours et 20 jours	Dissection des lombrics et recherche par méthode directe et par digestion des pepsines.	Absence de larves	
Okoshi et Usui, 1968	Terreau et ajout de *Toxocara canis*	11 jours	Dissection des lombrics et recherche par méthode directe.	Le nombre moyen de larves retrouvées par lombric est de 13,2. Les larves étaient au stade 2.	Infection des souris et poulets par les larves obtenues
Okoshi et Usui, 1968	Terreau et ajout d'œufs de *Toxocara cati*	16 jours	Dissection des lombrics et recherche par méthode directe.	Le nombre moyen de larves retrouvées par lombric est de 15,8. Les larves étaient au stade 2.	Infection des souris et poulets par les larves obtenues

Concernant les méthodes de détections des helminthes utilisées par les différentes études, elles sont précisées dans les paragraphes qui suivent.

La Norme officielle mexicaine (Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002) décrit les actions suivantes : les échantillons sont mélangés à une solution Tween 80 à 0,1% puis la solution est mise à décanter. Les sédiments récupérés sont alors centrifugés avec de l'eau distillée. Le surnageant est éliminé et le reste est placé dans une solution de sulfate de zinc. Une nouvelle centrifugation est réalisée puis un tamisage (tamis ayant des pores de 20µm). Du formol est ajouté et plusieurs opérations de centrifugation sont de nouveau réalisées. Enfin une incubation de 4 semaines à 26°C, puis une nouvelle centrifugation sont réalisées. Les œufs sont ensuite dénombrés au microscope.

Dans la méthode USEPA, les échantillons ont été mélangés avec de l'eau et un agent tensioactif à 0,1%. Après décantation, du sulfate de magnésium a été ajouté aux sédiments, permettant une centrifugation par gradient de densité. Un tamisage est ensuite effectué (400 maille US standard) ainsi qu'une extraction à l'aide d'acide alcool/éther éthylique. Le produit obtenu est ensuite placé à 26°C pendant 10 jours. Les œufs d'*Ascaris* sont dénombrés au microscope, sur une chambre de comptage de Sedwick-Rafter. ANOVA a été utilisé pour réaliser les statistiques.

Pour l'étude de Bowman et al (2006), 2 méthodes différentes ont été utilisées. Dans la première, 10 prélèvements d'1g sont effectués. L'échantillon est d'abord placé avec de l'eau dans un tube pour être centrifugé. Le surnageant est alors éliminé, et le reste est placé dans une solution aqueuse de sulfate de zinc. Une nouvelle centrifugation est réalisée puis un passage à travers un tamis de 500 mailles. Les œufs sont alors prélevés sur ce tamis puis de nouveau centrifugés. Après retrait du surnageant les œufs sont comptés au microscope. ANOVA a été utilisé pour réaliser les statistiques.

La seconde méthode de Bowman et al (2006) est la suivante : 3 prélèvements de 30g sont effectués. De l'eau et du 7X (détergent Linbro) sont ajoutés, et le tout est passé à travers un tamis (au standard US). Le filtrat est ensuite placé dans un bécher, où il reste à décanter une nuit à 4°C. Le surnageant est ensuite éliminé. Le reste est centrifugé. Il est ensuite placé en suspension dans du sulfate de zinc puis de nouveau centrifugé. Puis il est passé à travers un tamis de 500 mailles. Du formol à 0,5% est ajouté. Les œufs sont ensuite incubés pendant 4 semaines à 28°C en présence d'air. Enfin les œufs totaux et ceux ayant embryonnés ont été dénombrés. ANOVA a été utilisé pour réaliser les statistiques.

(6) Evolution de la quantité de protozoaires

Il n'y a pour l'instant pas d'étude ayant évalué les effets du lombricompostage sur les populations de *Blastocytis spp*, *Cryptosporidium spp* ou de *Giardia Duodénalis.*

(7) Evolution de la quantité des métaux lourds

Des mesures ont également été réalisées pour évaluer la présence de métaux lourds dans le compost en présence de lombrics. Il s'avère qu'*Eisenia foetida* peut stocker dans ces tissus des quantités très importantes de métaux lourds (jusqu'à 10 fois la concentration du substrat pour l'arsenic), et il n'éliminera que lentement ces métaux. Néanmoins lors de la mort du lombric, ces métaux se retrouveront à nouveaux présents dans le compost. Il est donc intéressant de séparer les lombrics du compost avant d'utiliser ce dernier en temps qu'engrais. De plus cette caractéristique est intéressante en tant qu'indicateur du niveau de pollution des sols.

Concernant les résidus médicamenteux, il n'y a pour l'instant pas eu d'études de réaliser. Rien n'indique actuellement que la présence des lombrics influencerait la quantité retrouvée dans le produit final.

Les résultats concernant la présence de pathogènes au sein du produit final obtenu grâce au lombricompostage sont plutôt en défaveur de son utilisation. Il est vrai que plusieurs auteurs semblent avoir obtenu un produit sain, néanmoins l'existence de résultats contradictoires encourage à ne pas prendre de risques. Ceci est d'autant plus vrai qu'il n'est nulle part fait mention des protozoaires. Or il serait intéressant de savoir l'effet du lombricompostage sur *Giardia duodénalis* et *Cryptosporidium spp*, dont les kystes sont assez résistants dans l'environnement. De plus il apparait évident que les résultats seront différents en fonction des substrats utilisés, et pour l'instant les déjections canines n'ont pas été étudiées. Yadav et al (2012) ont réalisé du lombricompostage à partir de matières fécales, mais humaines. De plus ils ont d'abord composté pendant 5 mois les déjections, puis après seulement ils ont introduit les vers. Cela a permis un traitement thermophile des déjections, avec notamment une nette diminution voire disparition des bactéries pathogènes et des œufs d'helminthes. De plus le produit final obtenu était plus homogène et plus riche en potassium et phosphore. L'hygiénisation du substrat apparait plus complète dans le cas du compostage.

Cependant les résultats de Hill et Baldwin (2012) contredisent ce point. Ils réalisent une étude sur le lombricompostage de résidus de toilettes humaines. Il s'avère dans ce cas que le lombricompostage est plus efficace que le compostage, car celui-ci ne parvient pas à atteindre des températures supérieures à 35°C du fait de la présence d'urine. Cette étude démontre là encore la réduction de coliformes lors de lombricompostage, mais alors qu'elle déplore l'absence de réduction de la population virale et d'helminthes dans le compost, il n'est nulle part fait mention du devenir de ces populations dans le lombricompostage.

Le lombricompostage apparait comme un moyen économique et rapide de traiter des déchets. Cependant au vu des études actuelles, il est plus prudent de ne pas utiliser le produit fini en tant qu'engrais sur des plantes destinées à la consommation, ou dans des lieux sensibles tels que des jardins d'enfants.

D. Comparaison lombricompost/compost

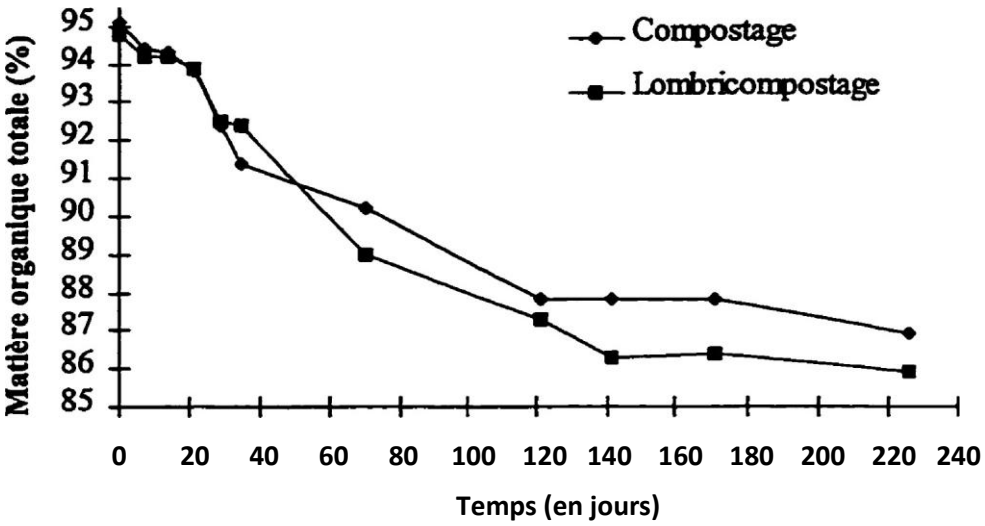
Plusieurs points doivent être pris en compte pour évaluer lequel des procédés est le plus pertinent à utiliser. Notons néanmoins que la combinaison des 2 est possible, et serait avantageuse (Yadav et al, 2012).

1. Durée

L'importance de ce paramètre varie en fonction des projets. Ce sera par exemple un point essentiel si de grandes quantités sont en jeu, alors qu'il ne rentrera pas en ligne de compte pour un particulier.

Le lombricompostage accélère la vitesse de minéralisation, c'est-à-dire la transformation de la matière organique en minerais, tels que le phosphore ou l'azote, facilement utilisable par les plantes (Albanell et al, 1988). Il apparait donc comme un procédé plus rapide que le compostage. Cependant ceci n'est pas vrai tout au long du procédé. En effet d'après St Pierre (1998), au cours du premier mois, la quantité de matière organique diminue plus rapidement en lombricompostage, mais cette tendance est ensuite inversée, puis de nouveau inversée [Figure 14]. Finalement le produit terminal est stabilisé plus rapidement dans le cas du lombricompostage (Lazcano et al, 2008) (Huang, 2014).

Figure 14 : Évolution de la matière organique totale du mélange de fumier de poulet et de sciure de bois composté et lombricomposté par Eisenia foetida (St Pierre, 1998)



D'après Nagavallemma et al (2004), il suffit de 4 à 8 semaines pour que les lombrics transforment le substrat en lombricompost, cependant cette durée ne fonctionne que pour des petites quantités et il faudra compter plusieurs mois pour l'obtention d'un lombricompost stable lors du lancement d'un nouveau site. Cette durée reste cependant inférieure à celle obtenue dans le cadre d'un compostage classique qui est alors de 20 semaines (Monedero et al, 2001). Notons que cette durée est variable en fonction de la nature du substrat, de la densité et de l'âge de la population de lombrics (Pathma et Sakthivel, 2012) (Huang, 2014).

2. Aspect économique

Les installations nécessaires pour le lombricompostage sont similaires à celles pour le compostage, leurs frais d'installation sont donc comparables. De même dans les 2 cas, des contrôles réguliers doivent être effectués pour juger des différents paramètres nécessaires à la réussite du procédé. Là encore les frais ne vont donc pas différer. Le prix des lombrics étant relativement négligeable il ne sera pas considéré comme un frais susceptible de dévaloriser le lombricompostage. Les seuls points ayant des conséquences budgétaires sont donc les suivants : la durée et le retournement.

Le compostage classique en plus d'être moins rapide, implique des coûts supplémentaires pour la mise en place, l'entretient et le fonctionnement des machines permettant le retournement, ou les salaires des employés le réalisant. De ce fait, si des grandes quantités doivent être traitées, il vaudrait mieux opter pour du lombricompostage.

Un autre aspect économique est la vente du ou des produits obtenus. Le lombricompostage présente alors un avantage car en plus de la vente du lombricompost, il permet aussi de vendre les lombrics. Pour ce faire, il faut commencer par séparer les lombrics du lombricompost via une des méthodes existantes. Il est par exemple possible d'attirer les lombrics à la surface en rajoutant de la matière organique fraiche, puis de récupérer cette matière colonisée au bout de 7 jours. Mais d'autres méthodes utilisant la lumière, la température ou des courants électriques peuvent aussi être utilisées. Une fois les lombrics récupérés, ils pourront être revendus comme source de protéines pour l'alimentation animale. Cependant ces lombrics seront peut-être porteurs de pathogènes ou de résidus médicamenteux, et pourraient donc être une source de contamination pour les animaux. Il serait donc prudent de ne pas les vendre.

Economiquement, le lombricompostage semble donc plus intéressant.

3. Qualité du produit final

Deux paramètres devront être pris en compte : la sécurité du produit obtenu, et ses propriétés nutritives pour les plantes.

a) Aspect sanitaire du produit obtenu

Nous l'avons déjà vu, l'hygiénisation du lombricompost n'est pas assurée. Au contraire les normes thermiques imposées au compost français devraient lui assurer une parfaite hygiénisation, mais des doutes persistent également.

b) Les qualités en tant qu'engrais

Le compost obtenu est similaire dans les deux cas, il constitue un engrais efficace pour le développement des plantes. En effet c'est un produit riche en azote, potassium et phosphore sous des formes disponibles pour les plantes, mais la présence de lombrics n'améliore pas ces qualités. D'après St Pierre (1998) il n'y a pas de différences significatives

au niveau du rapport C/N, ou au niveau de la quantité d'azote totale entre les 2 procédés. Cependant ces résultats sont contredits par des études (Ouahrani et Rached-Maosbah, 2001) (Lazcano et al, 2008) qui indiquent que la diminution du rapport C/N est plus importante dans le cas du lombricompostage. Elles démontrent également que ce rapport reste acceptable pour que le lombricompost soit utilisé pour des plantes, puisqu'il se situe toujours entre 10 et 13, qui est la norme définie par Bouche (1979).

Le lombricompost possèderait plusieurs avantages par rapport aux composts classiques. En effet il aurait des quantités d'azote, de potassium, de phosphore et de micronutriments plus élevées dans le produit final (Hashemimajd et al, 2004) (Vinceslas Akpa et Loquet, 1994). Mais il serait également pourvu d'hormones agissant sur la croissance des plantes (Dominguez et al, 1997). De plus la quantité d'acide humique produite est de 40 à 60% supérieure dans le lombricompost (Albanell et al 1988), favorisant le développement des plantes. Enfin c'est un produit plus homogène, plus poreux et permettant un meilleur drainage hydrique (Atiyeh et al, 2000)

Notons enfin que les cultures poussent mieux en présence de lombricompost qu'avec certains engrais chimiques ou des déjections de troupeaux (Subler et al, 1998).

Le lombricompost a d'indéniables qualités, le seul point noir étant l'incertitude quant au devenir des pathogènes. Mais pour certains auteurs, Le lombricompostage reste le meilleur moyen alternatif au traitement des déchets tels que les déjections animales (Pathma et Sakthivel, 2012).

Finalement les 2 procédés sont relativement comparables. Cependant c'est le devenir du produit final qui déterminera lequel choisir. Les 2 produits sont d'excellents engrais, et le lombricompost a même quelques avantages supplémentaires. Cependant il n'est pas certain qu'il puisse répondre aux normes, surtout en termes de pathogènes, imposées par la France et l'Europe De ce fait les chances de commercialiser un tel produit sont faibles. Au contraire, de par sa phase thermique, le compost devrait pouvoir être vendu. D'un point de vue éthique, l'absence de connaissance quant aux résidus médicamenteux devrait limiter son usage. Notons de plus que pour les 2 procédés, le fait que les déchets utilisés soient des déjections canines devrait fortement refréner les ventes. Finalement si le produit final doit être vendu, le compost s'impose. Il faut bien peser les pours et les contres d'une telle vente, car si l'on fait le choix de ne pas vendre, le lombricompost est plus avantageux. En effet si le principal objectif est de traiter les déchets, ce procédé est plus rapide et moins chronophage. La seule étape difficile est le lancement. Pour une ville, dont le principal objectif est le traitement des déjections canines, cette méthode apparait donc comme la plus adaptée.

III. Application du procédé de lombricompostage à des refuges pour animaux.

Nous avons pu constater que les déjections canines étaient un problème pour les villes, mais elles les sont également au sein de structures accueillant les chiens. Dans des fourrières ou des refuges, les déjections canines sont regroupées, facilitant leur ramassage. La métropole de Grenoble qui recherchait des alternatives plus écologiques au traitement des déchets, a décidé de tester le lombricompostage dans une fourrière. Cependant devant la nouveauté du procédé, elle a préalablement recherché s'il existait des projets similaires.

A. Un refuge animalier près de Montélimar

Une recherche auprès de différentes associations a permis de trouver un refuge près de Montélimar qui a décidé en 2011 de gérer seul ses déjections canines.

1. Présentation du refuge animalier

La SPA (Société protectrice des animaux) de l'enclave des Papes est située à Grillon, à 30km de Montélimar. Elle est à l'écart de la ville, dans une impasse au milieu d'une truffière. Elle accueil en général une soixantaine de chiens et une quarantaine de chats. Elle possède un terrain suffisamment grand pour autoriser l'installation de cages externes pour les chiens en plus du bâtiment principal. Mais de plus il reste du terrain boisé qui n'est pas occupé et non accessible aux chiens.

Cette SPA présentait l'avantage d'être isolée, sans voisin proche susceptible d'être réfractaire a de nouveau projet. De plus la taille de son terrain était également un avantage pour créer de nouvelles infrastructures.

2. Raisons du projet

Tout comme pour les villes, cette SPA est confrontée au problème de gestion des déchets. Ce problème est accentué par la distance entre la ville et la structure. De fait de son isolement, elle n'est pas reliée au système d'assainissement collectif. Compte tenu du nombre de chiens, la quantité de fèces produit doit être d'environ 18kg par jour. A cela il faut rajouter les litières des chats. Gérer de telles quantités quotidiennement s'avère compliqué et couteux car il faut faire appel à des sociétés privées qui effectuent des ramassages hebdomadaires.

La possibilité de traiter les déchets sur place permettrait une économie, et serait également un point qu'il est possible de mettre en avant pour valoriser son établissement auprès du public.

3. Choix du projet

La SPA a contacté un organisme qui réalise des toilettes sèches, mais également des toilettes utilisant le compost et lombricompost comme traitement des déchets. Ce projet était

à la fois nouveau pour la SPA et pour l'entreprise qui pour l'instant ne s'était intéressée qu'aux déjections humaines.

La première contrainte du projet était la contrainte économique. En effet le refuge ne dispose que de peu de fonds, et ne peut donc pas mettre en place de projets couteux. De plus, le succès du projet était incertain, et l'investissement pouvait potentiellement être perdu. De ce fait le compost et lombricompost apparaissent comme des solutions envisageables. Le choix entre les deux procédés a été rapide, car la société avait plus d'expérience dans le lombricompostage, et le choix s'est donc porté sur ce procédé.

Il a fallu ensuite décider comment le faire, là encore en choisissant une solution économique. De plus il fallait choisir un contenant suffisamment grand pour assurer le traitement continu des déjections de la SPA, soit 6,4 tonnes dans l'année. L'avantage de cette structure étant son grand terrain, sur lequel il était aisé de placer les installations. Au vu des contraintes, il a finalement été décidé de réaliser du lombricompost à même le sol, plus précisément au sein de fosses creusées dans la terre. Ce procédé ne fait pas parti des processus étudiés précédemment, il peut néanmoins être comparé au processus en andains, avec une aération moins facile, mais une protection contre les nuisibles plus intéressante.

Notons de plus que les informations fournies par la société établissent que le lombricompostage permet de détruire les germes pathogènes de type coliforme, entérocoque et les salmonelles. Ce projet a donc été présenté comme offrant la possibilité d'obtenir un produit finale utilisable sur toutes les plantations. Au vu des résultats de l'étude bibliographique, ces résultats peuvent être remis en cause. D'autant plus que les protozoaires ne sont pas abordés, alors que leur prévalence est très élevée dans les refuges.

Il est également signalé que le produit final est stable, même si celui-ci est finalement présent en très faible quantité puisque le volume est diminué de 80 à 90% à la fin du processus. Ce procédé est donc parfaitement adapté au problème de la SPA.

4. Mise en place du projet

Le projet a démarré en 2011, par la construction d'une fosse de 6m de large par 20m de long et 0,6m de profondeur, soit un volume de 72m^3. Notons que la profondeur de 0,6m correspond à la hauteur habituelle des andains et devrait donc permettre une oxygénation suffisante à la vie des lombrics. Les premiers déchets ont été placés à une extrémité, et les premiers lombrics, *Eisenia foetida* introduits.

Toutefois les déjetions n'ont pas été les seules matières introduites. En effet les fèces canines ont une forte contenance en azote, et leur rapport C/N est faible. Ce n'est donc pas un matériau de choix pour le compostage (Jaber 2012). Pour rétablir ce rapport, l'ajout de paille ou de foin est une bonne solution. Ces compléments étant consommés par les lombrics, il sera nécessaire d'en rajouter régulièrement. Ces ajouts permettront également de maintenir l'humidité du tas de façon plus efficace. Aucune fréquence précise n'a cependant été instaurée, et ce sont les employés du refuge qui estimaient quand il était nécessaire d'en rajouter.

Enfin quelques consignes ont été données. La plus importante concerne l'humidité du lombricompost. En effet la SPA étant située dans une région soumise à des périodes de sécheresse, il faudra arroser de façon régulière les fosses. Là encore la fréquence a été laissée à l'appréciation des employés.

Il sera également intéressant de contrôler l'évolution du produit, notamment en termes d'odeur et de couleur et d'évaluer la quantité de lombrics présents.

5. Evolution du lombricompost

Quelques mois après la mise en place des fosses, la quantité de lombrics retrouvée dans le substrat était très faible. Cela a nécessité la réintroduction de lombrics pour réenclencher le processus. Malgré cet ajout, les lombrics ne migraient pas dans les déjections présentes depuis moins de 5 mois, ralentissant le processus. Il a donc été décidé de rajouter de la paille humide en plus grande quantité pour attirer les lombrics. Les résultats ont été observés 2 mois après puisque les lombrics avaient colonisé une hauteur beaucoup plus importante du substrat. Nous en étions à 1 année et les premiers dépôts avaient été transformés en lombricompost, encourageant le projet à continuer.

Le projet continue depuis. Cela fait 6 années que le projet fonctionne et des déchets sont ajoutés en continue, au rythme d'environ 2 brouettes par jours. De plus cela fait un peu plus de 4 années que le refuge a cessé d'ajouter de la paille au lombricompost. Malgré les caractéristiques peu appétentes des fèces, ce changement n'a en rien affecté le lombricompostage. Les lombrics sont restés en grande quantité et ont continué à coloniser la matière fraiche, produisant du lombricompost mature en quelques mois.

6. Les conclusions de ce projet

Nous avons visité les installations en 2015, soit 4 ans après le début du projet et avons pu discuter avec les responsables du projet. Nous avons de plus continué à prendre des nouvelles pour vérifier que la SPA ne rencontrait pas de difficultés particulières.

Au fur et à mesure des années les lombrics ont colonisé de plus en plus rapidement les matières fraiches. Il leur suffit actuellement de quelques jours pour migrer vers les fèces fraîches, délaissant au fur et à mesure le lombricompost mature. Il n'a plus été nécessaire de renouveler la population de lombrics, cette dernière s'auto-régulant et se renouvelant sans aide extérieur. Ce procédé ne nécessite donc aucun entretien particulier, excepté l'apport régulier de matière. Ceci est accentué par la faible quantité de lombricompost produit, qui permet aux fosses d'être utilisables pendant plusieurs années sans avoir besoin d'être vidées.

Un entretien avec les responsables de la SPA a fait ressortir plusieurs points. Tout d'abord ce processus a permis à l'établissement de faire des économies importantes. Le seul investissement a été l'achat de lombrics par 2 fois, et celui de paille au début du projet. Depuis 2014 il n'y a donc eu aucun coût. De plus comme nous l'avons vu l'entretien des fosses et minime et n'est donc pas chronophage. Notons également que cette installation ne semble pas présenter de désagrément majeur. En effet les nuisances olfactives ne sont perceptibles

que lorsque l'on se situe à moins d'1m des fosses au niveau des fèces fraiches. L'observation réalisée au sein de cet établissement nous permet d'envisager de réaliser des installations à proximité d'habitations. L'entretien, ainsi que nos observations effectuées en début d'été, ont révélé l'absence de nuisibles, notamment des mouches, autour des fosses. Enfin, notons que les fosses sont très peu visibles, puisque le lombricompost mature est recouvert par des végétaux, et le lombricompost frais prend rapidement une couleur proche de la terre environnante.

La SPA de Grillon faisait face à un problème de gestion des déjections canines et a donc décidé de créer des fosses pour produire du lombricompost à partir des fèces de leurs pensionnaires. Après plusieurs années de fonctionnement, le projet a rempli ces objectifs, simplifiant la gestion des déchets et permettant des économies. De plus les inquiétudes que nous pouvions avoir, notamment concernant les odeurs, se sont avérées sans fondements. Le procédé ne présente que des avantages, et semble parfaitement adapté à des structures ayant un peu de terrain. Toutefois le procédé ne permet pas la production de lombricompost en quantité suffisante pour qu'il soit utilisé en tant qu'engrais sur des plantes. Ce n'était d'ailleurs pas un objectif recherché par la SPA. De plus les chiens ne se déplaçant pas près des fosses, la question de savoir s'ils risquaient de se contaminer via se biais ne s'est pas posée.

B. Le projet de la métropole de Grenoble

La métropole de Grenoble souhaite se tourner de plus en plus vers des procédés de développement durable. L'expérience réalisée à la SPA de Grillon étant un succès, la ville a décidé de réaliser une installation similaire dans une fourrière et un refuge près de Grenoble.

1. Présentation du projet

Ce projet est mis en place dans le chenil et la fourrière du Versoud, accueillant généralement dans les 80 chiens et chats. Comme dans le cas de Grillon, la gestion des déchets est coûteuse et compliquée car l'établissement n'est pas relié au système d'assainissement de la ville. La situation des 2 refuges est donc comparable, à quelques éléments près. Tout d'abord les litières des chats, qui sont en composés biodégradables, seront également intégrées au lombricompostage. Les quantités de déchets traitées seront plus importantes pour ce projet du fait de la présence des litières des chats. L'établissement devra traiter environ 43kg par jour soit 15 tonnes par an. Ces estimations ont été réalisées sur place, diminuant les risques de sous-estimer la quantité de déchets à traiter.

De plus la métropole de Grenoble espère pouvoir utiliser le lombricompost produit sur des plantations, et de ce fait l'aspect sanitaire du produit final obtenu est important.

2. Mise en place du projet

Le refuge est situé en zone rouge d'interdiction, c'est-à-dire qu'il est dans une zone inondable. Les contraintes à respecter sont de ce fait plus importantes, et notamment l'installation devra s'assurer qu'aucun liquide ne sera rejeté dans l'environnement. Une dalle en béton inclinée de 2% sera coulée pour favoriser la récupération des lixiviats. Elle fera 15m*15m, permettant de créer plusieurs allées séparées par des ballots de paille. Cela permettra de réaliser du lombricompostage en andains, qui seront larges d'environ 80cm et haut de 60cm. La paille sera également utilisée pour rééquilibrer le rapport C/N.

3. Lancement du projet

Le dossier a été présenté à la métropole de Grenoble avec la description du projet de Grillon comme exemple. Cela permettait de prouver la viabilité d'un tel projet.

Le projet ayant pour objectif de valoriser les déchets, l'ADEME le finance à 50%. De ce fait le coût de la mise en place sera compensé par les économies réalisées grâce à l'absence du traitement des déjections.

Mais ce n'est pas l'aspect économique qui a convaincu la métropole de donner son accord. En effet actuellement le transport et l'incinération des déjections produisent 3,98 tonnes de CO2 par an. La métropole souhaitant développer les alternatives écologiques, c'est cet argument qui lui a semblé le plus important.

Seul l'aspect sanitaire du produit fini était peu abordé. En effet, ce paramètre n'avait pour l'instant pas été étudié et ne pourrait pas l'être avant plusieurs mois sur le site. Il est simplement indiqué dans le dossier que les bactéries pathogènes sont détruites au cours du procédé. Nous avons pu constater que les études ne sont pas aussi affirmatives à ce sujet. Le dossier signalait également que de plus amples investigations seraient nécessaires sur ce point. Il est ainsi fait mention des risques liés aux helminthes. Le projet envisageait donc de rechercher la présence d'helminthes dans le produit final. Cependant il n'était pas fait mention des protozoaires ou des médicaments, tels que les vermifuges, qui sont régulièrement administrés aux animaux de refuge. Le fait d'étudier seulement la présence des helminthes ne suffira pas à garantir la salubrité du produit obtenu. Il serait nécessaire de chercher à minima la présence de protozoaires, et d'évaluer les quantités de produits médicamenteux retrouvés. Mais nous pouvons également douter du résultat concernant les bactéries et les virus. Ceci est d'autant plus vrai que le projet ne sera que très peu contrôlé, il n'y aura pas de surveillance du taux d'humidité ou de la température par exemple. De ce fait il est possible que tout le substrat ne soit pas « traité » par les lombrics. Il sera donc prudent de manipuler le lombricompost avec des gants, et de s'assurer de mettre en place des règles d'hygiènes limitant les risques de zoonoses.

4. Le projet aujourd'hui

Les fosses ont été mises en place en 2016 (Figure 15) et sont toujours utilisées aujourd'hui.

Figure 15 : Photographie de la première fosse mise en place au chenil de Versoud

Dans la première fosse, les déjections canines et les litières ont été mélangées. Cependant il s'est avéré que la première fosse s'est remplie en une année seulement. Les litières ne se sont pas dégradées et les vers étaient peu nombreux à la fin de l'année. Une des explications proposées était que le taux d'humidité en présence des litières était trop faible pour permettre la survie des lombrics. Au vu des résultats, il a été décidé de stopper l'ajout de litières dans les fosses. Ainsi au printemps de l'année 2017, la deuxième fosse a commencé à être replie mais cette fois uniquement de déjections canines et de paille. Cette fois les résultats correspondent à ce qui a été observé au refuge du Grillon. Les quantités de déchets diminuent fortement et les vers sont présents en grande quantité comme illustré sur la figure 16.

Figure 16 : Photographie d'une poignée de lombricompost récupérée 6 mois après la mise en place de la 2ème fosse.

5. Conclusions sur le projet

Tout comme pour le projet de Grillon, les installations semblent avoir convaincues les employés du refuge. Là encore il n'a pas été rapporté d'odeurs désagréables ou de nuisibles aux abords des installations. De plus les fosses ne nécessitent pas d'entretien et ne sont pas chronophages.

Néanmoins des aspects du projet ont dû être retravaillés. Tout d'abord il a fallu renoncer à intégrer les litières de chats au lombricompost. Ces litières sont désormais placées avec les ordures ménagères, et les économies réalisées sont donc inférieures aux estimations. De même la diminution du dégagement de CO2 sera inférieure à celle initialement prévue. De plus les quantités de lombricompost produites, ainsi que les risques sanitaires encourus empêchent son utilisation.

Les résultats obtenus sont donc inférieurs à ceux initialement prévus, néanmoins ce système est efficace pour diminuer la quantité de déchets produits par le refuge.

C. Discussion

1. Aspect économique

Dans les deux projets étudiés, les coûts de mise en place des projets étaient compensés par les économies réalisées sur le transport et le traitement des déchets. Il est possible de choisir différents types d'installations, et donc de faire le choix d'installations très peu coûteuses comme ça a été le cas au refuge du grillon.

Cependant a plus grande échelle les coûts peuvent être un frein. Le principal inconvénient étant le ramassage des déjections en ville. En effet le lombricompostage n'est pas une réponse au problème du ramassage des fèces, et de plus il oblige à avoir une collecte uniquement dédiée aux déjections. En effet actuellement la collecte se fait la majorité du temps avec les autres déchets, mais si une ville souhaite mette en place un lombricompost, il faudra pouvoir ne collecter que les fèces.

De ce fait pour une ville, il faudra prévoir les frais des installations, mais également de collectes. Pour réduire ces frais il faudrait que la majorité des déchets soient regroupés, comme par exemple en créant plus d'espaces pour les chiens et en plaçant des poubelles adaptées à de nombreux endroits en ville. Il faut de plus communiquer sur ces lieux, car si les propriétaires de chiens ne les utilisent pas, la collecte sera laborieuse. Il est également possible que les quantités collectées soient inférieures aux prévisions, et que de ce fait certains parcours soient peu rentables.

Il faudra prévoir des véhicules adaptés et donc des employés dédiés à cette collecte, des parcours en fonction des parcs et poubelles pour chiens, et enfin des employés pour s'occuper des installations. Ce dernier point peut cependant être discuté au vu des résultats obtenus dans les refuges. En effet pour de petites structures, il ne semble pas y avoir besoin d'un entretien quotidien. Il faut cependant quelqu'un pour arroser le substrat ou ajouter de la paille si nécessaire. Ce poste pourrait éventuellement être couplé avec un poste de collecte.

Enfin il faudra prévoir une personne en charge du projet, modifiant au besoin les parcours de collecte, et s'assurant de la viabilité des lombrics.

2. La Localisation

Il faut de la place pour installer les infrastructures, mais de plus il peut être difficile de faire accepter ce projet à des riverains. De ce fait avoir un terrain à l'extérieur des villes est probablement la meilleure option. C'est le cas des refuges étudiés, qui n'ont pas rencontré d'opposition de voisinage. Il peut également être intéressant de se placer près d'une installation de traitement des eaux pour traiter les lixiviats, c'est-à-dire les eaux s'écoulant du lombricompost. C'est par exemple le cas à Grenoble où les lixiviats sont traités grâce à un système de filtres bambous. L'inconvénient d'un emplacement en périphérie des villes et que cela augmentera les temps de trajet et donc le coût du ramassage. Cela augmentera également les émissions de CO2, diminuant l'impact écologique que peut avoir un tel projet.

Il faudra de plus tenir compte de la législation concernant les infrastructures classées. En effet au niveau des refuges, les installations sont de petites tailles ce qui ne sera probablement pas le cas pour les villes. Dans le cas d'une installation traitant 2 tonnes/jour, elle sera soumise au décret concernant les installations classées pour la protection de l'environnement. Il faut par exemple s'assurer d'avoir un terrain suffisamment grand pour que les installations soient situées à plus de 8m des limites de la propriété. Cette consigne pouvant être modifiée par des arrêtés préfectoraux. De même il faudra respecter des distances avec des réserves d'eau potable, des résidences privées, des lieux destinés à accueillir du public, des zones de piscicultures ou encore des zones conchicoles.

L'accès à ces zones devra être réglementé et la zone délimitée par des barrières de minimum 2m de haut.

Notons néanmoins qu'il est possible d'obtenir des autorisations pour installer les infrastructures sur des zones inondables, ce qui peut faciliter la recherche du terrain. Certaines régions seront peut-être plus réticentes du fait de la présence de monuments historiques ou encore de parcs protégés.

3. L'acceptation des villes

Les contraintes pour les villes sont plus importantes que pour les refuges. A cela doit s'ajouter les autorisations nécessaires pour les installations classées. De plus comme nous l'avons vu les avantages économiques sont moins intéressants pour les villes que pour des refuges.

L'argument écologique peut donc être la principale motivation à mettre en place ce projet. Néanmoins ce n'est pas une réelle réponse au problème des déjections sur les trottoirs. De plus le système actuel fonctionne, il faut donc trouver des personnes motivées pour encadrer le projet. C'est d'ailleurs un point qu'a soulevé une des responsables du projet de la métropole de Grenoble. L'acceptation par la ville a été rapide dans le cadre du refuge du Versoud, mais il faut des personnes motivées pour assurer le suivi du projet.

4. Le fonctionnement de la structure de lombricompostage

Une fois le projet mis en place, il ne nécessite que peu d'entretien. Le principal point étant de vérifier la viabilité des lombrics, ceci étant surtout vrai durant les premiers mois. Ensuite l'entretien consiste essentiellement à ajouter de façon régulière du substrat dans les structures.

Le démarrage du lombricompost pourrait être amélioré. En effet dans les deux cas étudiés, les lombrics venaient du commerce, et c'était majoritairement des formes adultes. Or nous avons vu que le démarrage était plus efficace, et surtout réussissait plus souvent en présence de plusieurs stades du lombric. De ce fait il serait intéressant d'utiliser un lombricompost en cours comme source de lombrics. De plus les lombrics semblent s'adapter à la matière qu'ils colonisent puisqu'ils vont de plus en plus rapidement vers les fèces fraiches. Il serait donc judicieux pour démarrer un nouveau projet, de prendre du lombricompost d'un des deux refuges précédemment étudiés comme source de lombrics.

Durant les premiers mois, il faudra également assurer l'approvisionnement en paille des structures. Mais au vu des résultats au refuge du Grillon, cela ne sera nécessaire qu'au début du projet.

5. Devenir du lombricompost

Contrairement aux petites structures, la quantité de lombricompost produit sera importante. Il faudra donc décider de son devenir. Deux options sont envisageables :

Le lombricompost produit peut être considéré encore comme un déchet. Il peut alors être incinéré. L'inconvénient étant que cela nécessitera de transporter puis de bruler le lombricompost, produisant du CO2 et augmentant les coûts du projet.

L'autre possibilité étant d'utiliser le lombricompost en tant qu'engrais. Il présente de nombreux avantages mais il peut également présenter un risque pour la santé humaine. Son utilisation doit donc être raisonnée. Une des solutions serait d'utiliser le produit final sur des zones inaccessibles au public comme par exemple des ronds-points. Il est également possible de réaliser les tests permettant sa commercialisation. Cependant la législation française n'impose pas de détecter les protozoaires qui représentent un risque non négligeable dans le cas des déjections canines.

6. L'association du compostage et du lombricompostage

La législation française indique que le compost ou lombricompost peut subir des prétraitements. Or il est possible de réaliser une phase de compostage puis ensuite d'ajouter les lombrics au substrat.

L'avantage de cette méthode étant que la phase thermique a lieu, et donc à priori l'hygiénisation du compost également. De plus lors du démarrage d'un lombricompost, cette phase est souvent présente et provoque la mort des lombrics. Il est donc possible d'envisager de laisser la phase thermique se produire et de n'incorporer les lombrics qu'après 3 semaines

de compostage. Le produit final obtenu ne devrait pas présenter de risque pour l'homme, mais il sera également obtenu plus rapidement et sera un meilleur engrais que du compost.

Néanmoins ce procédé ne peut pas être appliqué aux structures ayant un apport continu de matière puisque les vers étant déjà présents, la nouvelle matière apportée ne subirait pas la phase thermique et serait immédiatement colonisée. Mais pour des structures de taille plus importantes le procédé pourrait être envisagé. En effet les déchets quotidiens devraient être en quantité suffisante pour permettre aux fosses d'être pleines en quelques jours. Les lombrics ne seraient incorporés que 3 semaines plus tard. L'inconvénient étant que durant ces 3 semaines, il faut s'assurer que le retournement du tas est optimal pour permettre une montée en température au-delà de 55°C pendant au moins 3 jours. Les coûts seront donc augmentés du fait de la main d'œuvre nécessaire.

7. Comment le lombricompostage pourrait-il être une solution pour les villes ?

Le lombricompostage semble être un procédé parfaitement adapté à l'échelle d'un chenil. La solution pour les villes serait peut-être de reproduire des installations de taille similaire. Ces installations devraient être placées près de lieux fréquentés par des chiens, pour réduire le coût du ramassage voir le supprimer. En se basant sur l'exemple du Park Spark Project, le plus intéressant serait de placer les installations au cœur des parcs fréquentés par les chiens, pour que les déjections soient ramassées et placées dans le lombricompost par les propriétaires et non par des agents de la ville. Les installations devront être fermées et les règles d'hygiènes clairement exposées. Ce système permettrait une réduction des coûts et des émissions de C02.

Les villes risquent cependant de rencontrer plusieurs obstacles. Tout d'abord la place disponible dans les parcs est limitée, et il sera difficile de faire accepter une réduction de l'espace pour placer les infrastructures. Mais de plus cette réticence sera accentuée par les craintes des nuisances que pourrait provoquer un tel projet, en particulier en termes d'odeur. Investir dans un bâtiment fermé pourrait être une solution, mais la surveillance du taux d'humidité du lombricompost devra être accrue en conséquence.

Les autres problèmes sont ceux retrouvés dans le Park Spart Project. Il s'agit tout d'abord des sacs utilisés pour ramasser les déjections. L'idéal serait que les propriétaires les ramassent à l'aide de pelles et les placent seules dans le lombricompost. Mais il sera difficile de convaincre les propriétaires de transporter une pelle à chaque sortie, et elles risquent d'être volées si elles sont mises à disposition dans le parc. Et si les propriétaires sont amenés à utiliser des sacs, il faudra que ceux-ci soient dégradables par les lombrics. Pour l'instant il n'y a pas eu d'études sur un tel composé.

Le dernier point est la motivation des propriétaires à encourager le projet. En effet s'ils ne sont pas informés, et si des activités ne sont pas proposées autour du projet, les propriétaires seront susceptibles de ne pas porter les déjections jusqu'aux fosses de lombricompostage.

Même à plus petite échelle, il semble difficile pour les villes d'obtenir les résultats observés dans les chenils de Grillon et du Versoud.

Les établissements accueillant les animaux font face à une problématique différente de celle des villes. En effet si le ramassage des déjections est facile et rapide, leur traitement est souvent coûteux. C'est ce problème commun qui a encouragé 2 refuges à tester une nouvelle méthode de traitement des fèces : le lombricompostage. L'objectif premier étant de réduire le volume des excréments canins, le choix du lombricompostage s'est avéré judicieux et les 2 chenils ont été satisfaits du résultat. Néanmoins le succès n'a pas été total puisque si le procédé a été efficace pour les déjections canines, il s'est révélé inutilisable pour les litières de chats. De plus un des objectifs de la métropole de Grenoble était d'utiliser l'engrais produit, ce qui n'est pas envisageable au vu des très petites quantités produites. Ce procédé reste très intéressant pour les refuges, mais il semble difficilement transposable à l'échelle des villes. En effet les coûts seraient alors importants et il faudrait décider du devenir du lombricompost produit. Si celui-ci doit être incinéré comme le sont actuellement les déjections, le projet aurait peu d'intérêts. S'il est utilisé en tant qu'engrais, il faudra au préalable sélectionner les lieux susceptibles de l'accueillir, et ils risquent d'être peu nombreux. Il serait possible d'assurer une meilleur hygiénisation du lombricompost en réalisant au début du processus une phase d'augmentation thermique. Mais les installations seraient plus onéreuses et la main d'œuvre plus nombreuse.

Conclusion

Les déjections canines sont un problème sociétal, économique et sanitaire. Leur gestion est pour l'instant peu réglementée, laissant la possibilité aux collectivités de mettre en place des systèmes alternatifs. Pour faciliter le ramassage des déjections, de nombreuses villes ont mis en place des espaces dédiés aux chiens et ont tenté de sensibiliser les propriétaires. Mais peu d'initiatives ont vu le jour concernant le devenir de ces déjections une fois la collecte réalisée. La majorité des propositions sont venues d'associations et étaient plutôt adaptées à de petits volumes. Finalement ce sont surtout des particuliers ayant la volonté d'être plus respectueux de l'environnement qui se sont penchés sur ces procédés. C'est probablement parce qu'ils étaient facilement réalisables par ces particuliers, que les procédés de compostage et lombricompostage ont pris de l'ampleur ces dernières années. Ils sont présentés comme des procédés pratiques, peu coûteux, hygiénisant et valorisant les déchets. Néanmoins, si les premiers points sont cohérents avec la bibliographie et les expériences des 2 chenils, les autres points ne sont pas complétement exacts dans le cas des déjections canines. Tout d'abord les déjections canines fraiches présentent de nombreux risques sanitaires pour l'homme. La prévalence chez le chien de certains pathogènes est pour l'instant inconnue en France, tout comme le rôle du chien dans la transmissions de certains agents zoonotiques. De ce fait le problème est peut-être sous-estimé. De plus le réchauffement climatique pourrait amener de nouvelles espèces pathogènes à être retrouvées sur le territoire métropolitain. Or s'il semble avéré que le compostage et le lombricompostage permettent la destruction de certains pathogènes, notamment les bactéries, leur effet sur d'autres sont soit controversés comme c'est le cas pour les helminthes, soit inconnus comme pour les protozoaires. Le produit final obtenu devra donc être manipulé avec précaution, et son utilisation restreinte à des zones non fréquentées par des enfants ou des chiens et ne contenant pas de plantes destinées à l'alimentation. Ce problème pourrait apparaitre comme un frein important à l'utilisation de ces procédés, cependant il faut tenir compte d'un autre paramètre important : les quantités produites. En effet il s'avère que ces dernières sont négligeables à l'échelle d'un refuge accueillant 60 chiens, donc pour un particulier n'en ayant que quelques-uns, il n'obtiendra pas de quantités suffisantes pour l'utiliser comme engrais. Les produits doivent donc être manipulés avec précaution avant et après transformation, mais le procédé abouti à une réduction très importante de la masse de déchets et ce pour un budget faible. Ceci est d'autant plus vrai pour le lombricompostage qui est un procédé plus rapide et nécessitant moins de main d'œuvre que pour le compostage. Cette méthode a répondu parfaitement à la demande des chenils qui souhaitaient gérer de façon plus économique et écologique leurs déjections. Néanmoins il semble plus difficile de reproduire ces expériences à l'échelle d'une ville. En effet si le lombricompostage est une réponse au problème de destruction des déjections, il n'aide en rien les villes à améliorer la propreté de leurs trottoirs. La réalisation de centres de

lombricompostage à l'extérieur des villes sera coûteuse, et la mise en place de petites installations au cœur des villes semblent difficiles.

Thèse de M/Mme..Maisonneuve Maëlle

Le Professeur responsable
VetAgro Sup campus vétérinaire
Docteur Médecine Vétérinaire
L. Zenner

Le Directeur général
VetAgro Sup
Pour le Directeur Général et par délégation

La Directrice Générale Adjointe
Pr. Jeanne-Marie BONNET-GARIN

Pr Alain CALENDER
Génétique des cancers et maladies multifactorielles
Hospices Civils de Lyon - GHE
Centre de Biologie et Pathologie EST
59, Boulevard Pinel - 69677 BRON cedex
Tél. 04 27 85 66 13 - Fax 04 72 35 73 35
alain.calender@chu-lyon.fr

Le Président de la thèse
A. C.

Vu et permis d'imprimer

Lyon, le 28 NOV. 2017

UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON I

Pour Le Président de l'Université,
Le Président du Comité de Coordination des Etudes Médicales
Professeur Pierre COCHAT

Bibliographie

A Propos Développement – Cultures & Territoire. « Chiens en Ville Rapport sur les espaces verts accessibles aux chiens à Paris intra-muros », (2012). http://www.monchienmaville.com/wp-content/themes/greenearth/telechargements/rapport2012.pdf.

Afnor. Norme NFU 44-051 (2008). http://www.apag-environnement.com/docs-normes/Afnor-NFU%2044-051.pdf.

Albanell, E., Plaixats, J., et Cabrero, T. « Chemical changes during vermicomposting (*Eisenia fetida*) of sheep manure mixed with cotton industrial wastes ». *Biology and Fertility of Soils*, nº 3, (1988) : 266–269.

Amaravadi, L., Bises, M.S., et Bozarth, R.F. « Vermial virucidal activity: implications for management of pathogenic biological wastes on land ». *Biological wastes*, nº 4, (1990) : 349–358.

Anastasi, A., Varese, G. C., et Filipello Marchisio, V. « Isolation and Identification of Fungal Communities in Compost and Vermicompost ». *Mycologia*, nº 1, (2005) : 33-44. doi:10.3852/mycologia.97.1.33.

Anderson, B. C. « Moist heat inactivation of Cryptosporidium sp. » *American Journal of Public Health*, nº 12, (1985) : 1433-34.

Anses. « Giardia Duodenalis », janvier 2011.

Appelhof, M., Webster, K. and Buckerfield, L. « Vermicomposting in Australia and New Zealand. » *Biocycle*, n° 37, (1996) : 63-66.

Arancon, N. Q., Edwards, C.A., Lee, S.S., et Yardim, E. « Management of plant parasitic nematode populations by use of vermicomposts ». *Brighton crop protection conference pests and diseases*, n° 2, (2002) : 705–710.

Atiyeh, R. M., Subler, S., Edwards, C. A., Bachman, G., Metzger, J. D., et Shuster, W. « Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil ». *Pedobiologia*, nº 5, (2000) : 579–590.

AVPU. « Actualités de L'AVPU - Versailles 8 octobre 2015 », (2015). http://www.avpu.fr/pdf%20AVPU/actualite_avpu.pdf.

Basti, A. A., Haddadzadeh, H., Tajik, H., Hajimohammadi, B., Shirali, S., Hemati, M., et Ahmadiara, E. « Effect of Different Temperature Conditions on Survival Time of Linguatula Serrata Nymphs. » *HVM Bioflux* *, nº 2, (2011) : 76-82.

Bihaoui, B., Rihani, M., Mountadar, M., Malamis, D., Loizidou, M., et Assobhei, O. « Valorisation des boues de traitement des eaux usées d'une unité laitière par compostage aérobie ». *Dechets sciences et techniques*, n° 58, (2010) : 16-21

Bouché, M.B. « Le lombricompostage industriel des déchets. » *Agrosol*, n° 7, (1994) : 726-33.

Boudadi-Maligne, M., Mallye, JB., Langlais, M., et Barshay-Szmidt, C. « Des restes de chiens magdaléniens à l'abri du Morin (Gironde, France). Implications socio-économiques d'une innovation zootechnique ». *PALEO. Revue d'archéologie préhistorique*, nº 23, (2012) : 39-54.

Bowman, Dwight D., Liotta, J. L., McIntosh, M., et Lucio-Forster, A. « Ascaris suum Egg Inactivation and Destruction by the Vermicomposting Worm, *Eisenia foetida*. » *Proceedings of the Water Environment Federation*, nº 2, (2006) : 11–18.

Bowman, Dwight D., et Lucio-Forster, A. « Cryptosporidiosis and Giardiasis in Dogs and Cats : Veterinary and Public Health Importance ». *Experimental Parasitology*, nº 1, (2010) : 121-27. doi : 10.1016/j.exppara.2009.01.003.

Bowman, Dwight D., Ulrich, M. A., Gregory, D. E., Neumann, N. R., Legg, W., et Stansfield, D. « Treatment of Baylisascaris Procyonis Infections in Dogs with Milbemycin Oxime ». *Veterinary Parasitology*, nº 3-4, (2005) : 285-90. doi : 10.1016/j.vetpar.2004.02.030.

Brett, M. M., Rodhouse, J. C., Donovan, T. J., Tebbutt, G. M., et Hutchinson, D. N. « Detection of Clostridium Perfringens and Its Enterotoxin in Cases of Sporadic Diarrhoea. » *Journal of Clinical Pathology*, nº 7, (1992) : 609-11. doi :10.1136/jcp.45.7.609.

Brown, B. « How do earthworms affect microfloral and faunal community diversity? » *Kluwer Academic Publisher, Plant and Soil*, n° 170, (1995) : 209-231.

Burge, W. D., Enkiri, N. K., et David Hussong, D. « Salmonella regrowth in compost as influenced by substrate (Salmonella regrowth in compost) ». *Microbial ecology*, nº 3, (1987) : 243–253.

Compaoré. E., et Nanéma. L. S. « Compostage et qualité du compost de déchets urbains solides de la ville de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso ». *Tropicultura*, nº 4, (2010) : 238–245.

Causapé, A. C., Quílez, J., Sánchez-Acedo, C., et del Cacho, E. « Prevalence of Intestinal Parasites, Including Cryptosporidium Parvum, in Dogs in Zaragoza City, Spain ». *Veterinary Parasitology*, nº 3-4, (1996) : 161-67.

Ceruti, R., Sonzogni, O., Origgi, F., Vezzoli, F., Cammarata, S., Giusti, A. M., et Scanziani, E. « Capillaria Hepatica Infection in Wild Brown Rats (Rattus Norvegicus) from the Urban Area of Milan, Italy ». *Journal of Veterinary Medicine, Series B*, nº 3, (2001) : 235-40. doi:10.1046/j.1439-0450.2001.00436.x.

Chaban, B., Ngeleka, M., et Hill, J. E. « Detection and quantification of 14 Campylobacter species in pet dogs reveals an increase in species richness in feces of diarrheic animals ». *BMC microbiology*, nº 1, (2010) : 73.

Chaoui. H « Vermicompostage (ou lombricompostage) : Le traitement des déchets organiques par les vers de terre ». Ministère de l'agriculture et des affaires rurales. Ontario, (2015). http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/10-010.htm. Consulté le 7 novembre 2017.

Charbonnier, L. « Thérapie facilitée par l'animal et maladie d'Alzheimer : quels bénéfices pour la communication ? », Mémoire présenté pour l'obtention du certificat de capacité d'orthophoniste, Nice, Universite de Nice-Sophia-Antipolis (2010) : 119p

Christy, A. « Anaerobic Digestion and Other Alternatives for Dog Waste Management and Education in Thurston County ». Pacific Shellfish Institute, (2013).

Claerebout, E., Casaert, S., Dalemans, A. C., De Wilde, N., Levecke, B., Vercruysse, J., et Geurden, T. « Giardia and other intestinal parasites in different dog populations in Northern Belgium ». *Veterinary Parasitology*, nº 1, (2009) : 41-46. doi:10.1016/j.vetpar.2008.11.024.

Contreras-Ramos, S. M., Escamilla-Silva, E. M., et Dendooven, L. « Vermicomposting of Biosolids with Cow Manure and Oat Straw ». *Biology and Fertility of Soils*, nº 3, (2005) : 190-98. doi:10.1007/s00374-004-0821-8.

Curry, J. P., et Schmidt, O. « The Feeding Ecology of Earthworms – A Review ». *Pedobiologia*, nº 6, (2007) : 463-77. doi:10.1016/j.pedobi.2006.09.001.

Dado, D., Izquierdo, F., Vera, O., Montoya, A., Mateo, M., Fenoy, S., Galván, A. L., et Garcia, S., Garcia, A., Aranguez, E., Lopez, L., del Aguila, C., et Miro, G. « Detection of Zoonotic Intestinal Parasites in Public Parks of Spain. Potential Epidemiological Role of Microsporidia ». *Zoonoses and Public Health*, nº 1, (2012) : 23-28. doi:10.1111/j.1863-2378.2011.01411.x.

Damborg, P., Broens, E. M., Chomel, B. B., Guenther, S., Pasmans, F., Wagenaar, J. A., Weese, J. S., et Wieler, L. H., Windahl, U., Vanrompay, D., Guardabassi, L. « Bacterial Zoonoses Transmitted by Household Pets : State-of-the-Art and Future Perspectives for Targeted Research and Policy Actions ». *Journal of Comparative Pathology*, nº 1, Supplement 1, (2016) : S27-40. doi:10.1016/j.jcpa.2015.03.004.

Daniel, O., et Anderson, J. M. « Microbial biomass and activity in contrasting soil materials after passage through the gut of the earthworm Lumbricus rubellus Hoffmeister ». *Soil Biology and Biochemistry*, nº 5, (1992) : 465–470.

D'Aoust, J. -Y., Park, C. E., Szabo, R. A., Todd, E. C. D., Emmons, D. B., et McKellar, R. C. « Thermal Inactivation of Campylobacter Species, Yersinia enterocolitica, and Hemorrhagic Escherichia coli 0157:H7 in Fluid Milk ». *Journal of Dairy Science*, nº 12, (1988) : 3230-36. doi:10.3168/jds.S0022-0302(88)79928-2.

Department of Horticulture and Crop Science at the Ohio State University, USA, Soil Ecology Laboratory, USA, Subler, S., Edward, C., et Metzger, J. « Comparing vermicomposts and composts ». *Biocycle*, nº 7, (1998) : 63-66.

Deplazes, P., van Knapen, F., Schweiger, A., et Overgaauw, P. A. M. « Role of pet dogs and cats in the transmission of helminthic zoonoses in Europe, with a focus on echinococcosis and toxocarosis ». *Veterinary Parasitology*, nº 1, (2011) : 41-53. doi:10.1016/j.vetpar.2011.07.014.

Dominguez, J., Edwards, C. A., et Subler, S. « A comparison of vermicomposting and composting ». *Biocycle* n° 38, (1997) : 57–59.

Dorella, F. A., Pacheco, L. G. C., Oliveira, S. C., Miyoshi, A., et Azevedo, V. « Corynebacterium Pseudotuberculosis: Microbiology, Biochemical Properties, Pathogenesis and Molecular Studies of Virulence ». *Veterinary Research*, n° 2 (2006) : 201-18. doi:10.1051/vetres:2005056.

Dyachenko, V., Pantchev, N., Gawlowska, S., Vrhovec, M. G., et Bauer, C. « Echinococcus multilocularis infections in domestic dogs and cats from Germany and other European countries ». *Veterinary Parasitology* 157, n° 3 (7 novembre 2008): 244-53. doi:10.1016/j.vetpar.2008.07.030.

Eastman, B. R., Kane, P. N., Edwards, C. A., Trytek, L., Gunadi, B., Stermer, A. L., et Mobley, J. R. « The Effectiveness of Vermiculture in Human Pathogen Reduction for USEPA Biosolids Stabilization ». *Compost Science & Utilization*, n° 1, (2001) : 38-49. doi:10.1080/1065657X.2001.10702015.

Edwards, C.A. « Historical overview of vermicomposting. » *Biocycle*, n° 36, (1995) : 56-58.

Edwards, C. A., et Fletcher, K. E. « Interactions between earthworms and microorganisms in organic-matter breakdown ». *Agriculture, Ecosystems & Environment*, n° 24, (1988) : 235-47. doi:10.1016/0167-8809(88)90069-2.

El Safadi, D. « Epidémiologie moléculaire, facteurs de risque de transmission et pathogénicité du protiste parasite Blastocystis sp. » Université du Droit et de la Santé-Lille II, 2014. https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01175820/.

EnviroWagg. « Information ». *EnviroWagg : dog waste compost, dog poop compost, doggone good*, (2016). http://envirowagg.com/yes-you-can/. Consulté le 7 Novembre 2017

FACCO. « 4. La possession d'animaux familiers », (2014). http://www.facco.fr/La-possession-d-animaux-familiers?var_recherche=nombre%20 Consulté le 7 Novembre 2017

FACCO. « Nouvelle enquête FACCO / KANTAR TNS : Début de stabilisation pour la population canine ? », (2016). http://www.facco.fr/IMG/pdf/PAFF2016_-_communique_de_presse.pdf.

FACCO. « Nouvelle enquête FACCO / TNS SOFRES : Le chat poursuit sa progression au sein des foyers français », http://www.facco.fr/IMG/pdf/PAFF2014_-_communique_de_presse.pdf (2015).

Feachem, R. G., Bradley, D. J., Garelick, H. & Mara, D. D. Chichester « Sanitation and Disease : Health Aspects of Excreta and Wastewater Management ». The World Bank, (1983).

Fradin, E. « Introduction d'un chien dans un secteur hospitalier spécialisé en gériatrie », Thèse de doctorat vétérinaire, Université Paul Sabatier, Toulouse. (2009) : 171p

Fukata, T., Naito, F., Yoshida, N., Yamaguchi, T., Mizumura, Y., et Hirai, K. « Incidence of Salmonella Infection in Healthy Dogs in Gifu Prefecture, Japan ». *Journal of Veterinary Medical Science*, n° 11, (2002) : 1079-80. doi:10.1292/jvms.64.1079.

Garg, P., Gupta, A., et Satya, S. « Vermicomposting of different types of waste using Eisenia foetida: A comparative study ». *Bioresource Technology*, n° 3 (2006) : 391-95. doi:10.1016/j.biortech.2005.03.009.

Gómez-Brandón, M., Aira, M., Lores, M., et Domínguez, J. « Epigeic Earthworms Exert a Bottleneck Effect on Microbial Communities through Gut Associated Processes ». *Plos one*, nº 9 (2011) : e24786. doi:10.1371/journal.pone.0024786.

Gómez-Brandón, M., Lores, M., et Domínguez, J. « Changes in Chemical and Microbiological Properties of Rabbit Manure in a Continuous-Feeding Vermicomposting System ». *Bioresource Technology* n° 128, (2013) : 310-16. doi:10.1016/j.biortech.2012.10.112.

Grand Lyon. « Les relation homme animal en milieu urbain ». *Millénaire 3*, Les synthèses, (2005). http://www.millenaire3.com/content/download/1225/16235/version/1/file/homme-animal_02.pdf.

Grantina-Ievina, L., Andersone, U., Berkolde-Pīre, D., Nikolajeva, V., et Ievinsh, G. « Critical Tests for Determination of Microbiological Quality and Biological Activity in Commercial Vermicompost Samples of Different Origins ». *Applied Microbiology and Biotechnology*, nº 24 (2013) : 10541-54. doi:10.1007/s00253-013-4825-x.

Grewal, S. K., Rajeev, S., Sreevatsan, S., et Michel, F. C. « Persistence of Mycobacterium Avium Subsp. Paratuberculosis and Other Zoonotic Pathogens during Simulated Composting, Manure Packing, and Liquid Storage of Dairy Manure ». *Applied and Environmental Microbiology*, nº 1, (2006) : 565-74. https://doi.org/10.1128/AEM.72.1.565-574.2006.

Galibert, F., Quignon, P., Hitte, C., et André, C. « Toward understanding dog evolutionary and domestication history ». *Comptes Rendus Biologies*, On the trail of domestications, migrations and invasions in agriculture, nº 3, (2011) : 190-96. doi : 10.1016/j.crvi.2010.12.011.

Haenni, M., Saras, E., Métayer, V., Médaille, C., et Madec, JY. « High Prevalence of blaCTX-M-1/IncI1/ST3 and blaCMY-2/IncI1/ST2 Plasmids in Healthy Urban Dogs in France ». *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, nº 9 (2014) : 5358-62. doi:10.1128/AAC.02545-14.

Haguenoer, JM. « Les résidus de médicaments présentent-ils un risque pour la santé publique ? » *Santé Publique*, nº 3, (2010) : 325-42.

Hait, S., et Tare, V. « Vermistabilization of primary sewage sludge ». *Bioresource Technology*, nº 3 (2011) : 2812-20. doi:10.1016/j.biortech.2010.10.031.

Hammermueller, J., Kruth, S., Prescott, J., et Gyles, C. « Detection of toxin genes in Escherichia coli isolated from normal dogs and dogs with diarrhea. » *Canadian Journal of Veterinary Research*, nº 4, (1995): 265-70.

Hansen, RC., Keener, HM., et Marugg, C. (1993). « Composting of poultry manure. » *Science and engineering of composting*, n° 13, (1993) : 1-153

Hashemimajd, K., Kalbasi, M., Golchin, A., et Shariatmadari, H. « Comparison of Vermicompost and Composts as Potting Media for Growth of Tomatoes ». *Journal of Plant Nutrition*, nº 6, (2004) : 1107-23. doi:10.1081/PLN-120037538.

Haug, R.T. « Compost Engineering: Principles and Practice ». *Ann Arbor Science*, (1980).

Hill, G. B., et Baldwin, S. A. « Vermicomposting Toilets, an Alternative to Latrine Style Microbial Composting Toilets, Prove Far Superior in Mass Reduction, Pathogen Destruction, Compost Quality, and Operational Cost ». *Waste Management*, nº 10, (2012) : 1811-20. doi:10.1016/j.wasman.2012.04.023.

Hinney, B., Gottwald, M., Moser, J., Reicher, B., Schäfer, B. J., Schaper, R., Joachim, A., et Künzel, F. « Examination of anonymous canine faecal samples provides data on endoparasite prevalence rates in dogs for comparative studies ». *Veterinary Parasitology*, nº 245 Supplement C (2017) : 106-15. doi:10.1016/j.vetpar.2017.08.016.

Ho, Y. B., Zakaria, M. P., Latif, P. A., et Saari, N. « Simultaneous Determination of Veterinary Antibiotics and Hormone in Broiler Manure, Soil and Manure Compost by Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry ». *Journal of Chromatography.* N°1262 (2012) : 160-68. doi :10.1016/j.chroma.2012.09.024.

Huang, K. « Effect of earthworms on the efficiency and microbial community during composting of fruit and vegetable wastes ». Gifu University, (2014).

Iammarino. F. « La sensibilisation à la propreté publique à la ville de Bruxelle. Des citoyens engagés pour la ville de Bruxelle. », (2015). http://www.avpu.fr/pdf%20AVPU/rtrans2015/2-Bruxelles.pdf.

IBSA. « Août 2017 - Bruxelles : 10 habitants de plus par jour en 2016 », (2016). http://ibsa.brussels/publications/titres/a-la-une/aout-2017-bruxelles-10-habitants-de-plus-par-jour-en-2016#.WYwXdVFJY2w. Consulté le 7 Novembre 2017

Iida, T., Kanzaki, M., Nakama, A., Kokubo, Y., Maruyama, T., et Kaneuchi, C. « Detection of Listeria monocytogenes in Humans, Animals and Foods ». *Journal of Veterinary Medical Science*, nº 12, (1998) : 1341-43. doi:10.1292/jvms.60.1341.

Insee. « Tourisme−Tableaux de l'Économie Française », (2016). https://www.insee.fr/fr/statistiques/1906740?sommaire=1906743. Consulté le 7 Novembre 2017

Jaber, S. A. « Canine faeces: the microbiology of an environmental health problem ». Department of Molecular Biology and Biotechnology, University of Sheffield, UK, (2012).

Jayasinghe, B.A.T. D., et Parkinson, D. « Earthworms as the Vectors of Actinomycetes Antagonistic to Litter Decomposer Fungi ». *Applied Soil Ecology*, nº 1 (2009) : 1-10. doi:10.1016/j.apsoil.2009.06.001.

Jiménez, E. I., et Garcia, V. P. « Evaluation of city refuse compost maturity : a review ». *Biological wastes*, nº 2 (1989) : 115–142.

Jones, P., et Martin, M. « A review of the literature on the occurrence and survival of pathogens of animals and humans in green compost ». *WRAP standards report. The Waste and Resources Action Programme, Oxon*, (2003).

Kale, Radha D., Mallesh, B. C., Kubra, B., et Bagyaraj, D. J. « Influence of vermicompost application on the available macronutrients and selected microbial populations in a paddy field ». *Soil Biology and Biochemistry*, nº 12, (1992) : 1317–1320.

Karsten, G. R., et Drake, H. L. « Comparative assessment of the aerobic and anaerobic microfloras of earthworm guts and forest soils. » *Applied and Environmental Microbiology*, nº 3, (1995) : 1039–1044.

Keck, G., et Vernus, E. « Déchets et risques pour la santé ». *Techniques de l'ingénieur Gestion des déchets*, nº g2450, (2000)

Kozak, M., Horosova, K., Lasanda, V., Bilek, J., et Kyselova, J. « Do Dogs and Cats Present a Risk of Transmission of Salmonellosis to Humans? » *Bratislavske Lekarske Listy*, nº 10, (2003) : 323-28.

Küchle, M., Knorr, H. L., Medenblik-Frysch, S., Weber, A., Bauer, C., et Naumann, G. O. « Diffuse Unilateral Subacute Neuroretinitis Syndrome in a German Most Likely Caused by the Raccoon Roundworm, Baylisascaris Procyonis ». *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, nº 1 (1993) : 48-51.

Kumar, A. G., et Sekaran, G. « Enteric Pathogen Modification by Anaecic Earthworm, Lampito Mauritii ». *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, nº 1, (2005).

Lalander, C. H., Hill, G. B., et Vinnerås, B. « Hygienic Quality of Faeces Treated in Urine Diverting Vermicomposting Toilets ». *Waste Management*, nº 11, (2013) : 2204-10. doi:10.1016/j.wasman.2013.07.007.

Lazcano, C., Gómez-Brandón, M., et Domínguez, J. « Comparison of the Effectiveness of Composting and Vermicomposting for the Biological Stabilization of Cattle Manure ». *Chemosphere*, nº 7, (2008) : 1013-19. doi:10.1016/j.chemosphere.2008.04.016.

Lecocq, J.L., Gabriel, R. « La sensibilisation des publics scolaires. Le ludique comme levier au changement de comportement », (2009). http://www.avpu.fr/pdf%20AVPU/rtrans2015/1-Metz.pdf.

Le monde. « Jérusalem : fichage génétique des chiens pour lutter contre leurs déjections ». *Le Monde.fr*, (2012). http://www.lemonde.fr/proche-orient/article/2012/06/10/jerusalem-fichage-genetique-des-chiens-pour-lutter-contre-leurs-dejections_1715815_3218.html. Consulté le 7 Novembre 2017

Leland, J. E. « Evaluating the Hazard of Land Applying Composted Diazinon Waste Using Earthworm Biomonitoring ». Thesis, Virginia Tech, (1998).

Li, Q., Zheng, L., Cai, H., Garza, E., Yu, Z., et Zhou, S. « From Organic Waste to Biodiesel : Black Soldier Fly, Hermetia Illucens, Makes It Feasible ». *Fuel*, nº 4, (2011) : 1545-48. doi:10.1016/j.fuel.2010.11.016.

Lotzof, M., Eisenacher, K., et Naylor, L. « Vermicomposting achieves pathogen stabilisation of biosolids at mesophilic temperatures ». *Proceedings of the Water Environment Federation*, nº 3, (2002) : 227–237.

Lung, A. J., Lin, C. M., Kim, J. M., Marshall, M. R., Nordstedt, R., Thompson, N. P., et Wei, C. I. « Destruction of Escherichia coli O157: H7 and Salmonella enteritidis in cow manure composting ». *Journal of food protection*, nº 9, (2001) : 1309–1314.

Mairie de Paris. « Baromètre propreté de la ville de paris vague 8 : 2009 ». p33-37, p58-63, p79-115, (2009).

Mairie de Paris. « DansMaRue. Détectez, cliquez, réduisons les anomalies. », (2014).

Marks, S. L., Rankin, S. C., Byrne, B. A., et Weese, J. S. « Enteropathogenic Bacteria in Dogs and Cats: Diagnosis, Epidemiology, Treatment, and Control ». *Journal of Veterinary Internal Medicine*, nº 6 (2011) : 1195-1208. doi:10.1111/j.1939-1676.2011.00821.x.

Masciandaro, G., Ceccanti, B., et Garcia, C. « "In situ" vermicomposting of biological sludges and impacts on soil quality ». *Soil Biology and Biochemistry*, nº 7, (2000) : 1015–1024.

Mathur, U. B., Verma, L. K., et Srivastava, J. N. « Effects of vermicomposting on microbiological flora of infected biomedical waste ». *Journal of ISHWM* , nº 5, (2006) : 21–26.

McSorley, R., et Gallaher, R. N. « Effect of yard waste compost on plant-parasitic nematode densities in vegetable crops ». *Journal of nematology*, nº 4, (1995) : 545.

Menigaux, H. « Les vétérinaires et l'environnement. Enquête nationale auprès de vétérinaires salariés et libéraux. » Thèse de doctorat vétérinaire, Faculté de Médecine, Créteil, (2004).

Ministère de l'agriculture, de l'agro-alimentaire et de la forêt. « Classification sous-produits animaux », (2009). file:///C:/Users/maell/Downloads/guide_trigen-span-destination_albrnspan_final_cle027341%20(2).pdf

Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie. « Circulaire du 13 décembre 2012 relative aux règles de fonctionnement des installations de compostage de proximité ». NOR : DEVP1241386C, 2012. http://circulaire.legifrance.gouv.fr/pdf/2012/12/cir_36241.pdf.

Monteith, H. D., Shannon, E. E., et Derbyshire, J. B. « The inactivation of a bovine enterovirus and a bovine parvovirus in cattle manure by anaerobic digestion, heat treatment, gamma irradiation, ensilage and composting. » *The Journal of Hygiene*, nº 1, (1986) : 175-84.

Morel, J. L., Colin, F., Germon, J. C., Godin, P., et Juste, C. « Methods for the evaluation of the maturity of municipal refuse compost ». *Composting of Agricultural and other Wastes*, n°15 (1985) : 56-72.

Morel, J.L, Guckert, A., Nicolardot, B., Benistant, D., Catroux, G., et Germon, J C., « Etude de l'évolution des caractéristiques physico-chimiques et de la stabilité biologique des ordures ménagères au cours du compostage ». *Agronomie*, nº 8 (1986) : 693–701.

Morse, E. V., Duncan, M. A., Estep, D. A., Riggs, W. A., et Blackburn, B. O. « Canine salmonellosis : A review and report of dog to child transmission of Salmonella enteritidis. » *American Journal of Public Health*, nº 66 (1976) : 82-83. doi:10.2105/AJPH.66.1.82.

Munck, M., et Adler, E. « Gros plan sur une nuisance urbaine majeure : les déjections canines en ville ». *Techniques Sciences Méthodes*, nº 6 (2015) : 32-36. doi:10.1051/tsm/201506032.

Mustin, M. Le compostage, gestion de la matière organique. Paris, Éditions François Dubusc, 954 p. (1987).

Nagavallemma, K. P., Wani, S. P., Lacroix, S., Padmaja, V. V., Vineela, C., Babu Rao, M., et Sahrawat, K. L. « Vermicomposting: Recycling Wastes into Valuable Organic Fertilizer ». *Global Theme on Agroecosystems*, n° 8, (2004) : 20

Ndegwa, P. M., Thompson, S. A., et Das, K. C. « Effects of stocking density and feeding rate on vermicomposting of biosolids ». *Bioresource Technology*, nº 71 (2000) : 5-12. doi:10.1016/S0960-8524(99)00055-3.

Ofoefule, V., Uzodinma, M., et Anyanwu, S. « Studies on the Effect of Anaerobic Digestion on the Microbial Flora of Animal Wastes 2: Digestion and Modelling of Process Parameters ». *Treds APPl. Sci.*, nº 5 (2010) : 39-47.

Okoroigwe, E. C., Ibeto, C. N., et Ezema, C. G. « Experimental Study of Anaerobic Digestion of Dog Waste ». *Scientific Research and Essay*, nº 6, (2014): 121-27. doi:10.5897/SRE2013.5705.

Okoshi, S., et Usui, M. « Experimental Studies on Toxascaris Leonina. VI. Experimental Infection of Mice, Chickens and Earthworms with Toxascaris Leonina, Toxocara Canis and Toxocara Cati ». *Nihon Juigaku Zasshi. The Japanese Journal of Veterinary Science*, nº 30, (1968) : 151-66.

Omaima, M. A. « Prevalence of Potential Zoonotic Enteric Bacterial Pathogens in Dogs and Cats and Factors Associated with Potential Transmission Between Animals and Humans », (2004). Thèse pour un master en science, Knoxville : Université de Tennessee

Ouahrani. G., et Rached-Mosbah. O « Essai de Valorisation des Déchets Organiques par Lombricompostage ». *Revue des énergies renouvelables*, numéro spéciaux biomasse production et valorisation, (2001) : 83-86.

Pathma, J., et Sakthivel, N. « Microbial diversity of vermicompost bacteria that exhibit useful agricultural traits and waste management potential ». *SpringerPlus*, n°1, (2012) : 1-19 doi:10.1186/2193-1801-1-26.

Pathma, J., et Sakthivel, N. « Molecular and functional characterization of bacteria isolated from straw and goat manure based vermicompost ». *Applied Soil Ecology*, n° 70, (2013) : 33-47. doi:10.1016/j.apsoil.2013.03.011.

Pavio, N., Lunazzi, A., Barnaud, E., Bouquet, J., et Rogée, S. « Hépatite E : nouvelles connaissances du côté animal ». *Bull. Epidemiol. Hebd.* N° 14, (2010) : 19–21.

Perri, A. « A wolf in dog's clothing: Initial dog domestication and Pleistocene wolf variation ». *Journal of Archaeological Science*, nº 68, (2016) : 1-4. doi : 10.1016/j.jas.2016.02.003.

Petithory, J. C., et Ardoin, F. « Prevalence of Toxocara canis and other helminths in dogs in France and Italy in 1987-1989. » *Bulletin de la Société Française de Parasitologie*, n° 8 (1990) : 257-66.

Polack, B., Boulouis, HJ., Guillot, J., et Chermette, R. « Les zoonoses (tableaux synthétiques : animaux réservoirs de pathogènes et modes de transmission) ». *Revue francophone de laboratoire*, n°477, (2015) : 67-79

Potvin, D., État de la situation du compostage, Compte rendu du 2e Forum québécois sur le compostage, Sainte-Foy, (1995) : 1 1-2 1

Proix, R., et Nanchen, D. « Guide méthodologique du compostage partagé (ou semi-collectif) : Compostage en pied d'immeuble, de quartier » ADEME, (2012). http://www.ademe.fr/guide-methodologique-compostage-partage-semi-collectif-compostage-pied-dimmeuble-quartier. Consulté le 7 Novembre 2017

Reinecke, A. J., et Viljoen, S. A. « The Influence of Feeding Patterns on Growth and Reproduction of the Vermicomposting Earthworm Eisenia Fetida (Oligochaeta) ». *Biology and Fertility of Soils*, n° 10 (1990) : 184-87. doi:10.1007/BF00336133.

Rida, MA. « Les vers de terre et l'environnement ». *La recherche*, n°25, (1994) :260-267.

Rodríguez-Canché, L.G., Cardoso Vigueros, L., Maldonado-Montiel, T., et Martínez-Sanmiguel, M. « Pathogen Reduction in Septic Tank Sludge through Vermicomposting Using Eisenia Fetida ». *Bioresource Technology*, n° 101 (2010) : 3548-53. doi:10.1016/j.biortech.2009.12.001.

Rose, N., et Pavio, N. « Epidémiologie du virus de l'hépatite E chez le porc : comment limiter l'exposition des consommateurs ». *Journées Recherche Porcine* n° 46, (2014) : 159–168.

Royer, C. « L'éducation du chien et le citadin de demain : contraintes et enjeux d'une insertion du chien dans la ville », (2012). Thèse de doctorat vétérinaire, Université Paul Sabatier, Toulouse

Sánchez-Monedero, M. A., Roig, A., Paredes, C., et Bernal, M. P. « Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures ». *Bioresource technology*, n° 78, (2001) : 301–308.

Sauvesty, A. et Tabi, M. « Le compostage au Québec. » Canada, Éd: Consortium sur le développement du compostage au Québec, (1995), 76 p

Scheu, S. « Automated measurement of the respiratory response of soil microcompartments : active microbial biomass in earthworm faeces ». *Soil Biology and Biochemistry*, n° 11 (1992) : 1113–1118.

Schaufler, K., Bethe, A., Lübke-Becker, A., Ewers, C., Kohn, B., Wieler, L. H., et Guenther, S. « Putative Connection between Zoonotic Multiresistant Extended-Spectrum Beta-Lactamase (ESBL)-Producing Escherichia Coli in Dog Feces from a Veterinary Campus and Clinical Isolates from Dogs ». *Infection Ecology & Epidemiology*, n° 5, (2015) : 25334. doi:10.3402/iee.v5.25334.

Sen, B., et Chandra, T. S. « Do Earthworms Affect Dynamics of Functional Response and Genetic Structure of Microbial Community in a Lab-Scale Composting System ? » *Bioresource Technology*, nº 100 (2009) : 804-11. doi:10.1016/j.biortech.2008.07.047.

Sidaine JM., et Gass, M. « État de l'art de la collecte séparée et de la gestion de proximité des biodéchets ». ADEME, (2013). http://www.ademe.fr/etat-lart-collecte-separee-gestion-proximite-biodechets-partie-1-analyse-comparative. Consulté le 7 Novembre 2017

Sidhu, J., Gibbs, R. A., Ho, G. E., et Unkovich, I. « The role of indigenous microorganisms in suppression of Salmonella regrowth in composted biosolids ». *Water Research*, nº 35 (2001) : 913–920.

Siloé, « L'animal en chiffres à l'échelon de l'agglomération » *Millénaire 3*, (2003)

Skoglund, P., Ersmark, E., Palkopoulou, E., et Dalén, L. « Ancient Wolf Genome Reveals an Early Divergence of Domestic Dog Ancestors and Admixture into High-Latitude Breeds ». *Current Biology*, nº 11 (2015) : 1515-19. doi : 10.1016/j.cub.2015.04.019.

Stamm, I., Hailer, M., Depner, B., Kopp, P. A., et Rau, J. « Yersinia Enterocolitica in Diagnostic Fecal Samples from European Dogs and Cats : Identification by Fourier Transform Infrared Spectroscopy and Matrix-Assisted Laser Desorption Ionization–Time of Flight Mass Spectrometry ». *Journal of Clinical Microbiology*, nº 51, (2013) : 887-93. doi:10.1128/JCM.02506-12.

Stickelberger, D. « Survey of city refuse composting. In Organic matters as fertilizers ». Swedish International Development Authority, FAO, Soils Bulletin 27, Rome, (1975). pp. 185 209.

« Streetkleen Blog ». Consulté le 31 mars 2017. http://www.streetkleen.co.uk/latest-news.html.

St Pierre, MA. « Lombricompostage de fientes de poulet et de résidus de scierie ». Mémoire présenté pour l'obtention du grade de maitre des sciencesFaculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation université Laval, (1998).

Sugahara, K., Harada, Y., et Inoko, A. « Color change of city refuse during composting process ». *Soil Science and Plant Nutrition*, nº 25, (1979) : 197-208. doi:10.1080/00380768.1979.10433160.

Suthar, S., et Singh, S. « Vermicomposting of Domestic Waste by Using Two Epigeic Earthworms (Perionyx Excavatus and Perionyx Sansibaricus) ». *International Journal of Environmental Science & Technology*, nº 5 (2008) : 99-106. doi:10.1007/BF03326002.

Tangtrongsup, S., et Scorza, V. « Update on the Diagnosis and Management of Giardia Spp Infections in Dogs and Cats ». *Topics in Companion Animal Medicine*, nº 25, (2010) : 155-62. doi : 10.1053/j.tcam.2010.07.003.

Taylor, M. A., Coop, R. L., et Wall, R. L. *Veterinary parasitology. 3rd edition*. Blackwell Science, (2007).

« The Park Spark Project », 30 septembre 2016. http://parksparkproject.com/home.html. Consulté le 7 Novembre 2017

Touraine. J.L « Extrait du registre des arrêtés du Maire ». Référence 41050 - 2009 - 001, (2009).

Toyota, K., et Kimura, M. « Microbial Community Indigenous to the Earthworm Eisenia Foetida ». *Biology and Fertility of Soils*, nº 3-4 (2000) : 187-90. doi:10.1007/s003740050644.

Troillet. N « Infections transmises par les chats et les chiens ». *Rev Med Suisse* n°10, (2014) : 1859–63.

Turner, C., Williams, S. M., Burton, C. H., Cumby, T. R., Wilkinson, P. J., et Farrent, J. W. « Pilot scale thermal treatment of pig slurry for the inactivation of animal virus pathogens ». *Journal of Environmental Science and Health*, nº 6, (1999) : 989-1007. doi ; 10.1080/03601239909373241.

U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service (USDA/NRCS). « Composting dog waste ». Fairbanks Soil and Water Conservation District, (2005).

Vilà, C., Savolainen, P., Maldonado, J. E., Amorim, I. R., Rice, J. E., Honeycutt, R. L., Crandall, K. A., Lundeberg, J., et Wayne, R. K. « Multiple and Ancient Origins of the Domestic Dog ». *Science*, nº 5319 (1997): 1687-89. doi : 10.1126/science.276.5319.1687.

Ville de Lyon. « Animaux domestiques - Site Officiel de la Ville de Lyon ». http://www.lyon.fr/page/cadre-de-vie/animaux-dans-la-ville/animaux-domestiques.html. Consulté le 7 Novembre 2017

Ville de Lyon, Direction de l'écologie urbaine. « Les déjections canines », (2003).

Ville de Versailles. « Le chien citoyen à Versailles- Le Chien du Citoyen », (2014). http://www.preventioncanine.com/page_newsVersailles. Consulté le 7 Novembre 2017

Vivas, A., Moreno, B., Garcia-Rodriguez, S., et Benitez, E. « Assessing the Impact of Composting and Vermicomposting on Bacterial Community Size and Structure, and Microbial Functional Diversity of an Olive-Mill Waste ». *Bioresource Technology*, nº 100, (2009) : 1319-26. doi:10.1016/j.biortech.2008.08.014.

X. Parizot. « Déjections canines en milieu urbain : quelles solutions? » *Rev. sci. tech. Off. int.* n° 10, (1991) : 669-680.

Yadav, K. D., Tare, V., et Mansoor Ahammed, M. « Integrated Composting–vermicomposting Process for Stabilization of Human Faecal Slurry ». *Ecological Engineering* n°47, (2012) : 24-29. doi:10.1016/j.ecoleng.2012.06.039.

Zaim, N., Souabi, S., Aboulhassan, A., Aboulam, S., et Morvan, B. « Compostage des boues produites à la station d'épuration d'une huilerie, en mélange avec des déchets de jardin ». *Déchets Sciences & Techniques* N° 48, (2007) : 20–25.

MAISONNEUVE Maëlle

POLITIQUES URBAINES ET REPONSES AU PROBLEME DES DEJECTIONS CANINES EN VILLE. RETOUR D'EXPERIENCE DU LOMBRICOMPOSTAGE SUR 2 REFUGES CANINS.

Thèse d'Etat de Doctorat Vétérinaire : Lyon, *15 Décembre 2017*

RESUME :

Les déjections canines sont très présentes sur les trottoirs en France, et leur gestion est un problème quotidien. Au-delà du problème esthétique, c'est surtout les risques sanitaires qui inquiètent. Des aménagements ont été pensés pour faciliter leur ramassage et améliorer l'intégration des chiens en ville. Des programmes ont été mis en place pour sensibiliser les citadins au problème, mais également pour condamner les contrevenants. Mais une fois le ramassage réalisé le devenir de ces déchets est également sujet à débat. Actuellement ils sont brulés pour la grande majorité. Or de plus en plus de particuliers sont à la recherche de solutions plus respectueuses de l'environnement. Les méthodes de compostage et de lombricompostage ce sont donc développées, mais principalement à de petites échelles. Ces procédés ont l'avantage d'être peu coûteux, de nécessiter peu d'entretien et de produire un engrais de qualité, le lombricompostage étant supérieur au compostage sur tous ces points. Cependant le produit final obtenu n'est pas garanti sans pathogènes, notamment en ce qui concerne les helminthes et les protozoaires. Mais des refuges ont décidé d'utiliser ce procédé, notamment parce qu'il permet une réduction importante du volume des déchets. Les 2 expériences réalisées ont établi que ce procédé convenait à ce type de structures pour gérer les déjections. Le modèle semble cependant peu adaptable à l'échelle des villes.

MOTS CLES :

- Chien
- Déjection
- Lombricompostage
- Problématique urbaine

JURY :

Président :	Monsieur le Professeur Alain CALENDER
1er Assesseur :	Monsieur le Professeur Lionel ZENNER
2ème Assesseur :	Madame le Maître de conférences Maria-Halima LAABERKI

DATE DE SOUTENANCE :

15 Décembre 2017

ADRESSE DE L'AUTEUR :

22 rue Edouard Aynard

69100 Villeurbanne

FRANCE