

Étude des quantités et de la qualité du compost de biodéchets ménagers issu de deux formes de compostage collectif à Paris et identification de leurs débouchés potentiels

Projet ingénieur de 3^{ème} année
DA IDEA 2016-2017

Rapport non confidentiel

Commanditaire : Direction de la Propreté et de l'Eau - Mairie de Paris, représentée
par M. Patrice Poignard

Professeur référent : Mme. Claire-Sophie Haudin

Céline Bouin
Nora Couderc
Claire Gaffier

Abstract

In the context of the local waste prevention programme voted in 2010, the Ville de Paris has been promoting two collective composting systems. A study was conducted in order to assess the amount and the quality of the compost produced using these two kinds of systems. The first, the neighbourhood composter, consists in a composting facility located in a dedicated public area and is used on a voluntary basis by inhabitants living locally. The second, the building composter, is usually located in a courtyard within a building and is used by volunteers who live or work there. First, the quantities of diverted biodegradable kitchen waste and compost production were estimated using data from composters in operation. Then, 12 representative composters were selected and sampled in order to evaluate the quality of the compost in terms of the current standard NF U 44-051 and its agronomic value. Finally, the question of surplus compost was addressed by conducting interviews with the main stakeholders to explore opportunities. Results revealed that the quantity of diverted waste was 805 tons in 2015, which corresponds to 0.47% of the annual amount of biowaste produced in Paris. Moreover, the non-conformity of some composts with the standard suggests that mistakes during sorting may occur, or that the maturation process may be incomplete. Nevertheless, the agronomical parameters analyzed revealed that these composts would seem suitable for agricultural purposes as soil amendment. However, for any compost produced, its use must be consistent with the soil quality and the crops targeted. Finally, several opportunities were identified but legally the compost cannot be used if it does not conform to the standard. It would thus appear that there is a need to modify current regulations on collective composters.

Keywords : public policies, waste prevention, collective composting systems, quality and quantity assessments, urban context, Ville de Paris

Résumé

Au travers de son programme local de prévention des déchets voté en 2010, la Mairie de Paris promeut différents systèmes de compostage collectif. Dans ce contexte, la présente étude vise à estimer les quantités et la qualité des composts issus de deux formes de compostages urbains : les composteurs de quartier et les composteurs de pied d'immeuble. D'abord, les quantités de biodéchets détournés ainsi que la production de compost ont été estimées à partir de données de la littérature et des composteurs en fonctionnement. Puis, 12 composteurs représentatifs de la diversité des formes de compostage à Paris ont été sélectionnés pour le prélèvement de composts. Ces derniers ont été analysés pour apprécier leur qualité au regard de la norme NFU 44-051 et de leur valeur agronomique. Enfin, la question de la gestion des excédents potentiels de composts a été abordée au travers d'entretiens avec les principaux acteurs de la filière et différents débouchés ont été envisagés. Les résultats ont évalué à 805 tonnes les quantités détournées en 2015, ce qui correspond à 0,47% des biodéchets produits annuellement à Paris. Par ailleurs, la non-conformité de certains composts à la norme suggère des erreurs de tri lors des apports et/ou une étape de maturation incomplète lors du processus de compostage. Néanmoins, les paramètres agronomiques analysés révèlent l'intérêt des composts collectifs d'un point de vue amendant. Toutefois, leur utilisation doit être réfléchie selon les usages et types de sols. Enfin, plusieurs débouchés, comme l'agriculture urbaine ou les permis de végétaliser ont été envisagés et mettent en lumière une nécessaire évolution de la réglementation vis-à-vis des composteurs collectifs.

Mots-clefs : Politiques publiques de prévention des déchets, compostage collectif, évaluations des quantités et de la qualité, contexte urbain, Mairie de Paris

Remerciements

Nous tenons à remercier toutes les personnes ayant contribué à la réalisation de ce projet ingénieur.

Tout d'abord, nous remercions M. Patrice Poignard, ingénieur des travaux à la Direction de la Propreté et de l'Eau et représentant notre commanditaire à la Mairie de Paris, qui nous a accompagnées lors de ce projet.

Nous souhaitons remercier vivement notre enseignante référente, Mme Claire-Sophie Haudin, pour son aide, ses conseils et sa disponibilité tout au long du projet.

Merci à toutes les personnes avec qui nous avons eu l'occasion d'échanger lors des entretiens effectués et notamment les référents des composteurs de quartier et de pied d'immeuble qui nous ont fait visiter leurs sites. Merci pour le temps qu'ils nous ont accordé pour répondre à nos questions et pour le partage de leur expertise et de leur expérience.

Merci à M. François Nold pour nous avoir accompagnées dans la compréhension des analyses de compost.

Merci également à Santène Meunier, étudiante à AgroParisTech en apprentissage à la Direction de la Propreté et de l'Eau, pour son aide dans la réalisation des prélèvements.

Glossaire

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

CNRS : Centre national de la recherche scientifique

CTO : Composés traces organiques

DEVE : Direction des Espaces Verts et de l'Environnement

DPE : Direction de la Propreté et de l'Eau

ETM : Éléments traces métalliques

FFOM : Fraction fermentescible des ordures ménagères

HAP : Hydrocarbures aromatiques polycycliques

INERIS : Institut national de l'environnement industriel et des risques

INRA : Institut national de la recherche agronomique

IRSTEA : Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture

ISMO : Indice de stabilité de la matière organique

MB : Matière brute

MO : Matière organique

MS : Matière sèche

SWOT (analysis) : analyse "Strengths-Weaknesses-Opportunities-Threats"

Liste des figures

Figure 1. Méthodes de calcul pour l'estimation des quantités de déchets évités	p.6
Figure 2. Matrice SWOT des composteurs de quartier	p.9
Figure 3. Matrice SWOT des composteurs de pied d'immeuble	p.10
Figure 4. Evolution des nombres cumulés de composteurs et de foyers participants à Paris entre 2010 et 2015	p.10
Figure 5. Quantités de biodéchets évités (en tonnes) par année selon les scénarios "Participation observée" et "Participation active"	p.11
Figure 6. Conformité des échantillons de compost à la norme NFU 44-051	p.12
Figure 7. Ecart relatif par rapport à la norme selon les critères pour lesquels au moins un compost n'est pas conforme.	p.13
Figure 8. Réponses à deux questions du questionnaire des 28 référents des composteurs de pied d'immeuble ayant des excédents	p.14

Liste des tableaux

Tableau 1. Caractéristiques principales des composts de biodéchets	p.4
Tableau 2. Données chiffrées pour les deux scénarios d'estimation de la quantité de biodéchets évités.	p.11
Tableau 3. Résultats obtenus pour les principaux paramètres agronomiques	p.14

Sommaire

Abstract
Résumé
Remerciements
Glossaire
Liste des figures
Liste des tableaux
Sommaire

Introduction	1
I. Contextualisation	2
1. Réglementations et politiques de prévention des déchets	2
2. Généralités sur le compostage	2
3. Le compostage collectif de biodéchets en contexte urbain	4
II. Matériels et méthodes	5
1. Formes de compostage collectif urbain	5
2. Analyse des quantités de biodéchets évités et du compost produit	5
3. Analyse de la qualité du compost produit	7
4. Evaluation des excédents	9
III. Résultats	9
1. Formes de compostage collectif urbain	9
2. Analyse des quantités de biodéchets évités et du compost produit	10
3. Analyse de la qualité du compost produit	12
4. Evaluation des excédents	14
5. Débouchés actuels et potentiels	15
IV. Discussion/Réponse à la problématique	15
1. Apports du projet	15
2. Limites de l'étude	18
3. Perspectives et préconisations	19
V. Conclusion	20
VII. Références bibliographiques	21
VIII. Annexes	23

Introduction

A Paris, le déploiement du Programme Local de Prévention des Déchets 2011-2015 s'est traduit par une politique d'accompagnement pour le développement du compostage collectif, menée par la Mairie de Paris et plus particulièrement la Direction de la Propreté et de l'Eau (DPE). Ce type de compostage est l'une des voies pour diminuer la quantité de biodéchets -déchets pouvant être dégradés biologiquement, à savoir les déchets alimentaires, déchets verts, papiers et cartons- jetés par les ménages, les établissements scolaires, les sites institutionnels et les sites publics. Ces biodéchets, écartés de la collecte municipale du fait d'actions de gestion domestique, deviennent ainsi des déchets évités [1]. Cette politique a été récemment déclinée par le Plan Compost 2016-2020.

Les premiers composteurs collectifs ont été installés en 2010 suite à l'appel à candidatures de la Mairie de Paris pour l'expérimentation du compostage collectif en pied d'immeuble. Depuis, les candidatures se sont multipliées pour atteindre un nombre de 662 fin 2016¹. Ces composteurs dits "de pied d'immeuble" sont généralement situés dans la cour privative de bâtiments (immeuble résidentiel, école, site institutionnel ou site public) et sont alimentés par des volontaires qui vivent ou travaillent dans cet immeuble. Une autre forme de compostage collectif, les composteurs de quartier, se développe depuis 2014 et compte aujourd'hui huit sites dans Paris¹. Localisés dans des lieux publics (parcs, jardins...), ils sont alimentés par des foyers vivant à proximité. Les composteurs des deux filières sont très variés selon différents points de vue : type de structure accueillant les composteurs en pied d'immeuble, nombre de foyers participants et mode de gestion et d'organisation du site.

Devant le nombre croissant de composteurs créés depuis 2010 à Paris, un enjeu est le suivi des quantités de déchets évités et les quantités de compost qui en résultent. En effet, connaître ces quantités est un des moyens pour justifier de l'intérêt, pour la collectivité, de la démarche de compostage collectif. Un des objectifs de ce projet a donc été l'estimation des quantités de biodéchets évités et de compost produit par l'intermédiaire des deux systèmes.

D'autre part, la production de compost collectif s'accompagne de questionnements sur la gestion des risques pour la santé humaine et sur les responsabilités des producteurs de compost en cas de don. Pour que le compost soit utilisé hors du cercle d'autoconsommation, il est en théorie nécessaire que certaines de ses caractéristiques soient conformes à la réglementation dite "produit". Autrement, le compost considéré reste un déchet aux yeux de la loi et est de ce fait interdit à la vente ou au don. Ce projet intervient donc dans une période d'intérêt croissant pour la qualité des composts.

En outre, de la qualité et des quantités des composts produits dépendent les débouchés potentiels en cas d'excédents. En effet, le compost n'étant pas forcément utilisé par les participants, des excédents sont générés. A ce jour, la Mairie de Paris n'a pas de visibilité globale sur ces surplus de composts produits collectivement. La question est d'autant plus importante dans un contexte de tissu urbain aussi dense que Paris, où les espaces verts et autres possibilités d'écoulement chez les particuliers sont très restreints.

Le présent rapport s'efforce de répondre aux questions soulevées. Pour cela, une approche bibliographique est d'abord effectuée afin d'apporter des éléments sur la réglementation s'appliquant aux biodéchets et au compost, ainsi que sur les stratégies politiques d'évitement des biodéchets. Des informations sur le processus de compostage, les caractéristiques biologiques, chimiques et physico-

¹ Données de novembre 2016 fournies par la DPE, relatives au suivi des composteurs de pied d'immeuble et de quartier.

chimiques des composts sont également rappelées. Enfin, le contexte du compostage collectif urbain est développé. Dans un second temps, les matériels et méthodes utilisés pendant la période de projet pour analyser les systèmes de compostage existant, les quantités en jeu et la qualité des composts produits sont décrits. Les résultats obtenus sont exposés dans un troisième temps. Dans une dernière partie, une discussion sur l'ensemble de l'étude est engagée.

I. Contextualisation

1. Réglementations et politiques de prévention des déchets

Les réglementations européenne et française sur les déchets sont fondées sur un principe de hiérarchie dans les modes de traitement des déchets qui place la prévention en priorité (Directive Cadre sur les déchets du 19 novembre 2008, article 4 [2], Code de l'Environnement, article L.541-1 [3]). Dans cette perspective, la France a mis en place des politiques de réduction des déchets qu'elle renforce au travers des différents plans de prévention des déchets mis en application depuis 2004. La loi du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'Environnement fixe un objectif de réduction de 7% par habitant de la production d'ordures ménagères et assimilées (c'est-à-dire les ordures produites par les ménages et les professionnels dont la collecte est gérée par les services publics d'élimination des déchets) entre 2008 et 2013. Cette diminution a été atteinte notamment grâce à des efforts de prévention et de réorganisation de la collecte.

La production d'ordures ménagères résiduelles à Paris était estimée à 349 kg/hab/an en 2015. Elles comprennent l'ensemble des déchets jetés quotidiennement par les ménages. A Paris, 22,2% des ordures ménagères sont des biodéchets, c'est-à-dire des "déchets biodégradables de jardin ou de parc, les déchets alimentaires ou de cuisine issus des ménages, des restaurants, des traiteurs ou des magasins de vente au détail, ainsi que les déchets comparables provenant des usines de transformation de denrées alimentaires" [2]. Les biodéchets correspondent donc à la fraction fermentescible des ordures, qu'elles soient produites par les ménages (on parle dans ce cas de FFOM) ou par des professionnels (restauration collective par exemple). Ainsi, le gisement maximum de déchets valorisables pour la production de compost pourrait être évalué à 77,5 kg/hab/an.

La normalisation française NFU 44-051 [5], qui définit des critères (détaillés en annexe A) de qualité pour la mise sur le marché des amendements organiques, s'applique aux composts, dont ceux issus de fermentescibles alimentaires et/ou ménagers. Dans la mesure où sa qualité satisfait les exigences de la norme, le compost sort du statut de déchet et est considéré comme un produit, qu'il est possible de donner ou de commercialiser.

2. Généralités sur le compostage

➤ Définition du compostage

"Le compostage est un processus de décomposition de matières biodégradables dans des conditions contrôlées, qui sont principalement aérobies et pour lesquelles la chaleur biologiquement produite permet une élévation de la température à des niveaux appropriés pour la croissance des bactéries thermophiles" [6]. Le compostage conduit à la formation d'un matériau solide, hygiénisé et stabilisé appelé compost, et de lixiviats (liquides résiduels). Ces derniers ne seront pas étudiés dans le cadre de ce projet. Plusieurs types de déchets peuvent être compostés, qu'ils soient d'origine végétale ou animale : déchets verts, déchets ménagers, effluents d'élevage, déchets agroalimentaires et de cuisine.

Le procédé de compostage comprend une phase thermophile (50-70°C) qui aboutit à la formation de compost frais et une phase de maturation (35-45°C) qui transforme le compost frais en compost stable [7]. Ces élévations de température sur un temps suffisamment long assurent l'hygiénisation, définie dans la norme NFU 44-051 comme "l'effet induit par les traitements subis par des matières premières potentiellement porteuses d'agents pathogènes humains, animaux ou végétaux, et qui se traduit par une baisse à des niveaux acceptables de ces agents pathogènes" [5].

➤ **Importance de la stabilité du compost**

Le degré de maturité (ou stabilité) du compost atteste de la qualité de ce dernier. Un compost non mûr peut entraîner des effets négatifs sur la croissance des plantes. La durée de la maturation dépend énormément de la composition des déchets compostés. Selon la proportion de biodéchets et de déchets verts ou papiers/cartons, elle peut aller de quatre à six mois pour des composts de plateformes de compostage [8].

Il existe divers indicateurs pour apprécier la maturité d'un compost, dont un des plus utilisés est le rapport C/N (Carbone total/ Azote total). En début de compostage, il doit être d'environ 30 pour que le processus de biodégradation soit optimal [9]. Ce rapport diminue au cours du compostage et atteint une gamme de valeurs comprises entre 10 et 25 pour un compost mûr [10]. Le rapport C/N n'explique cependant pas à lui seul la stabilité d'un compost, étant calculé à partir de l'azote total et non l'azote organique [11].

Ainsi de nouveaux paramètres sont utilisés tels que la respiration basale ou encore l'ISMO (Indice de Stabilité de la Matière Organique), calculé à partir du fractionnement biochimique des matières organiques et de leur cinétique de minéralisation [11]. La respiration basale correspond à la consommation d'oxygène par les micro-organismes du compost et permet ainsi d'évaluer le stade de maturité [12]. En effet, en phase de maturation, la demande en oxygène est réduite car l'activité biologique est plus faible du fait de la diminution de la quantité de matières facilement biodégradables, ces dernières ayant principalement été dégradées lors de la phase thermophile. On estime que le compost est stable pour une consommation en oxygène inférieure à 40 mgO₂/kgMS/h ; au-delà de 90 mgO₂/kgMS/h, le compost est considéré comme non mûr [12]. Entre ces deux valeurs il est difficile de conclure sur la maturité du compost. Un produit stabilisé ne contient plus de matière organique facilement biodégradable [13]. Les termes de stabilité et de maturité sont équivalents de notre point de vue, ils seront donc utilisés indifféremment dans la suite du rapport.

➤ **Valeur agronomique des composts**

La valeur agronomique comprend deux propriétés toutes deux liées : les valeurs fertilisante (déterminée par la fraction facilement biodégradable de la matière organique (MO)) et amendante (déterminée par la fraction stable de la MO) [14]. Tout d'abord, la valeur fertilisante est appréciée à travers les teneurs et disponibilités en éléments minéraux nutritifs pour les plantes. Généralement, l'azote total (N), le potassium total (K₂O), le phosphore total (P₂O₅) et la somme de ces trois éléments (NPK) sont décrits pour tout fertilisant [8].

D'autre part, la valeur amendante traduit la capacité d'une matière organique à améliorer les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol, et à contribuer à l'entretien et/ou l'augmentation du stock de matière organique du sol [11]. Elle peut entre autres être appréciée par la teneur en MO, en matière sèche (MS), le rapport C/N, le pH. La teneur en MS renseigne sur l'humidité du compost [15]. La teneur en MO comprend à la fois la matière organique instable qui peut être biodégradée et la matière organique stable [14]. Elle est donc à mettre en relation avec un indicateur de la stabilité comme le rapport C/N. Enfin, le pH du compost, au-delà de son impact sur le sol en lui-même, joue un rôle sur la disponibilité des éléments pour les plantes [11]. Ainsi, c'est une valeur intéressante pour déterminer sur quels sols il est pertinent d'utiliser le compost. Un compost est avant tout utilisé pour ses propriétés d'amendement.

La composition des composts varie en fonction de nombreux paramètres, comme les matières compostées, la gestion du processus ou encore le temps accordé à la maturation. Une étude menée par l'INRA, le CNRS et l'Irstea regroupe des données provenant de 52 références bibliographiques, issues de divers rapports de l'ADEME, de Chambres d'agriculture et d'autres auteurs, pour décrire la composition moyenne et la variabilité des composts (composts de boues, de déchets verts, de digestat, de biodéchets, etc) [11]. Les données relatives aux composts de biodéchets sont résumées dans le tableau 1. A noter qu'il s'agit de données obtenues sur des composts industriels. Aucune donnée fiable n'a été trouvée concernant des composts collectifs de biodéchets urbains.

Tableau 1. Caractéristiques principales des composts de biodéchets. (Source : Rapport final ESCoMafor [11])

Paramètre	pH	C/N	MS (%MB)	MO (%MB)	N (%MB)	P2O5 (%MB)	K2O (%MB)	NPK global (%MB)
Moyenne	8,51	13,07	62,29	29,3	1,01	0,323	0,93	2,263
Min-Max	7,1-9,2	7,6-35,4	37,5-94,7	15,1-58,2	0,73-1,32	0,24-0,554	0,49-1,11	1,46-2,984

Les composts issus des plateformes de compostage sont essentiellement épandus en agriculture mais ils peuvent aussi servir en revégétalisation de sites ou comme support de culture [8].

3. Le compostage collectif de biodéchets en contexte urbain

➤ **Caractéristiques du compostage collectif de biodéchets à Paris**

Parmi les apports de biodéchets, quelques restrictions sont demandées par la Mairie de Paris, comme ne pas mettre de produits et sous-produits animaux (viande, poisson, produits laitiers...) ni de pain dans le bac à compost. Les coquilles d'œufs, coques, noyaux et écorces d'agrumes sont autorisés. Ces consignes de tri peuvent varier d'une ville à l'autre ; à Nantes par exemple, les restes de repas et le pain sont autorisés [16]. Enfin, il est demandé aux participants déposant des biodéchets dans le composteur d'y ajouter aussi de la matière sèche, appelée broyat (bois raméal fragmenté ou boîtes d'œufs par exemple) à hauteur d'un quart à un tiers du volume apporté de biodéchets. Ce co-substrat carboné permet d'augmenter le ratio C/N et favorise l'aération [11].

A l'échelle des composteurs collectifs en contexte urbain, deux types de compostage existent : le compostage en bac et le lombricompostage (voir annexe B pour photos). La première méthode consiste en un bac d'apport et un ou plusieurs bacs de maturation. Le lombricompostage est quant à lui basé sur la dégradation des biodéchets par des vers (en plus de celle effectuée par des micro-organismes), introduits au préalable dans le lombricomposteur [15]. Le volume occupé par un lombricomposteur est plus faible que dans le cas d'un composteur en bac.

Enfin, deux types de composteurs collectifs existent à Paris : les composteurs de pied d'immeuble et de quartier. Les premiers sont soit des lombricomposteurs soit des composteurs en bac. Ils sont installés dans des cours d'immeubles de différents types (immeubles résidentiels, écoles, sites institutionnels et sites publics). Ils sont alimentés par des personnes volontaires vivant ou travaillant sur ces lieux. Une demande de composteur de pied d'immeuble est portée par un référent, interlocuteur privilégié de la Mairie de Paris pour le lancement et le suivi du projet sur le site. Les composteurs de quartiers se situent au contraire dans des lieux publics gérés par la Direction des Espaces Verts et de l'Environnement (DEVE) -jardins, squares, parcs- ou par un autre gestionnaire -centres sportifs par exemple. Là encore, ils sont créés à l'initiative de citoyens volontaires et motivés, mais leur mise en place nécessite la tutelle d'une association. Les participants sont des foyers habitant à proximité. Les composteurs de quartier varient dans leur fonctionnement : horaires d'accès

au composteur, permanences ou accès libre, etc. En novembre 2016, six étaient opérationnels (localisation en annexe C) et deux en cours de lancement.

Quel que soit le type de composteur, les participants sont invités à collecter leurs biodéchets dans les bioseaux qui leur sont fournis, puis à déposer le contenu des bioseaux dans le bac d'apport, à ajouter du broyat (du carton pour les lombricomposteurs) et à brasser afin d'oxygéner la matière. Une fois le bac d'apport rempli, le compost est transféré dans un bac différent pour y subir une phase de maturation de plusieurs mois, avant l'obtention d'un compost mature utilisable par tous les participants ayant contribué à sa production. Si la Mairie de Paris fournit du broyat aux composteurs de pied d'immeuble durant la phase d'accompagnement et aux composteurs de quartier s'ils en ont besoin, les référents sont vivement encouragés à chercher par eux-mêmes une source de matière sèche, si possible en local.

➤ **Retours d'expérience sur le compostage collectif en contexte urbain**

Depuis une vingtaine d'années, des expériences similaires de compostage collectif sont apparues dans plusieurs villes françaises et européennes [17]. La plateforme internet Optigede développée par l'ADEME est dédiée au partage d'expériences sur la prévention et la gestion des déchets. Quelques données chiffrées y sont recensées au sujet de la quantité des déchets apportés.

Cette approche bibliographique a mis en évidence que, si les composts de biodéchets sont bien décrits dans la littérature, peu de références sont disponibles sur les composts collectifs de biodéchets urbains. Ainsi, la présente étude vise à caractériser les systèmes de compostage collectif existant à Paris et à apporter une meilleure connaissance des quantités des déchets évités, du compost produit et des qualités des composts.

II. Matériels et méthodes

1. Formes de compostage collectif urbain

Plusieurs entretiens semi-directifs ont été conduits. La majorité des contacts ont été fournis par la DPE. Au total, 18 personnes ont été auditionnées (liste présentée en annexe D). D'une part, quatre référents de composteurs de pied d'immeuble et huit référents et co-référents de composteurs de quartier ont été interviewés. Lors de chaque entretien, mené sur site afin de pouvoir y associer une visite du composteur correspondant, les points suivants ont été abordés : historique de la mise en place du composteur, caractéristiques et fonctionnement, thématiques du broyat, des débouchés du compost, du suivi des quantités.

D'autre part, six personnes, identifiées au préalable comme accompagnatrices des composteurs et/ou comme étant en lien avec des débouchés potentiels ont été interviewées : deux employés de la DEVE de la Mairie de Paris, une personne chargée de la prévention des déchets à l'agence métropolitaine des déchets ménagers (Syctom), le directeur du Laboratoire d'Agronomie de la Mairie de Paris, la directrice d'Urban Eco (société prestataire de la Mairie de Paris) et un des porteurs de projet de la Ferme du Rail. Au terme de ces entretiens, une analyse SWOT a été réalisée pour chacun des deux types de compostage étudiés afin de présenter synthétiquement leurs forces et faiblesses actuelles, ainsi que leurs opportunités et menaces potentielles.

2. Analyse des quantités de biodéchets évités et du compost produit

La période d'étude considérée est 2010-2015, les données de l'année 2016 étant incomplètes au moment de l'étude.

➤ **Evolution du nombre de foyers participants**

A partir des fichiers fournis par la Mairie qui répertorient les dates d'inauguration des composteurs ainsi que le nombre de foyers participants pour chaque site, le nombre de foyers participants par an a été calculé sur la période considérée. A noter que les calculs réalisés à partir des données d'une année, par exemple l'année 2010, ont été faits sur tous les composteurs créés en 2010. Ainsi, dans un souci de simplification, on considère que tous les composteurs créés en 2010 l'ont été le 1er janvier 2010 et ont fonctionné toute l'année. En réalité, les inaugurations de composteurs se sont échelonnées sur les 12 mois de l'année ; les estimations présentées dans ce rapport sont donc légèrement surestimées.

➤ **Estimation des quantités de biodéchets évités**

Très peu de composteurs réalisent un suivi précis de la quantité de biodéchets jetés. En effet, le compostage collectif se fonde sur une participation volontaire des foyers et la politique de la Mairie de Paris n'est pas de contraindre les participants à noter scrupuleusement les apports, bien qu'elle les y incite à travers les consignes et les visites lors de la période de suivi de début de compostage. Toutefois, certaines données sont disponibles lorsque la gestion du site implique une pesée ou un report des volumes apportés. Deux méthodes ont été envisagées pour calculer les quantités évitées (Figure 1.):

- *Méthode 1* : estimation du nombre de bioseaux jetés par an par foyer. Le volume moyen obtenu est alors multiplié par la masse volumique des biodéchets pour obtenir la masse des déchets évités.
- *Méthode 2* : elle est directement basée sur la pesée des biodéchets apportés par foyer.

Dans les deux cas, la masse de biodéchets évités doit être multipliée par le nombre total de foyers participants pour avoir une estimation sur l'ensemble des composteurs parisiens.

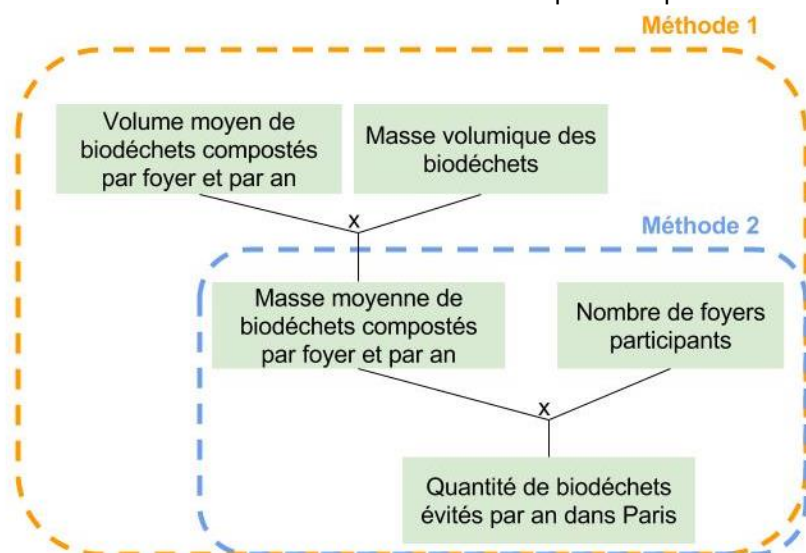


Figure 1. Méthodes de calcul pour l'estimation des quantités de déchets évités

La première méthode a été utilisée par le référent d'un composteur de pied d'immeuble qui a calculé le volume de biodéchets déposés dans sa résidence à partir du suivi du nombre de bioseaux déposés par les foyers participants [18]. La masse volumique des biodéchets a ensuite été évaluée par le référent grâce à des pesées sur 56 bioseaux. Cette méthode comporte des incertitudes : la masse volumique des biodéchets est une donnée qui varie beaucoup, notamment selon le type de déchets déposés et le degré de compaction des matières. L'estimation du remplissage du bioseau par les participants comporte elle aussi une part d'imprécision.

Par conséquent, dans cette étude, la deuxième méthode a été utilisée pour les calculs, à partir des données chiffrées d'un composteur de quartier² pour lequel les bioeaux apportés par les participants sont pesés lors de permanences. Pour chaque participant, la somme des apports effectués sur une année a été faite, puis moyennée par le nombre de participants. Le calcul a été fait à partir des apports entre le 1er janvier 2016 et le 31 décembre 2016, en ne prenant pas en compte les participants ayant débuté ou arrêté le compostage durant cette année.

Une fois la quantité de biodéchets déposés par foyer et par an estimée, elle a été appliquée au nombre total de foyers participants de tous les composteurs parisiens de pied d'immeuble et de quartier, sur la période 2010-2015. La masse totale de déchets évités depuis le début du compostage collectif à Paris a ainsi été estimée en faisant la somme des quantités évitées annuelles, pondérées par la durée de fonctionnement des composteurs, comme l'illustre la formule suivante :

$$Qté_{\text{déchets évités 2010-2015}} = Qté_{\text{évitée 2010}} * 6 + Qté_{\text{évitée 2011}} * 5 + \dots + Qté_{\text{évitée 2014}} * 2 + Qté_{\text{évitée 2015}}$$

Ce tonnage a été calculé selon deux scénarios. Le scénario "participation active" s'appuie sur les apports des foyers participants considérés comme actifs, c'est-à-dire ayant déposé au moins 12 fois des biodéchets dans le composteur en un an (soit, en moyenne, au minimum un apport par mois). Le scénario "participation observée" considère que tous les inscrits contribuent au compostage : même les inscrits qui participent très rarement voire jamais sont comptabilisés.

➤ Estimation de la production de compost

Pour finir, à la masse de biodéchets évités obtenue a été appliqué un taux de conversion de la matière brute en compost mature. Le taux de conversion choisi est de 29%³ et est en accord avec les chiffres de l'Ineris [19]. Les détails de la comparaison entre ces données sont en annexe E.

3. Analyse de la qualité du compost produit

Afin d'évaluer la qualité des composts produits par les composteurs collectifs parisiens, il a été décidé de réaliser des analyses. Deux laboratoires avaient déjà effectué des analyses de compost pour la Mairie de Paris, qui a fourni six résultats issus de cinq sites intramuros. Un des résultats n'a pas été exploité car il s'agissait d'une analyse faite sur un compost très jeune. Durant la période du projet, un seul laboratoire était susceptible de réaliser à nouveau des analyses : le Laboratoire d'Agronomie de la Mairie de Paris.

➤ Sélection des sites à échantillonner

En accord avec le commanditaire du projet et le laboratoire, il a été décidé de réaliser 20 analyses de composts matures (d'environ six à huit mois pour les composteurs en bac et trois mois pour les lombricomposteurs). Les cinq composteurs de quartier en activité depuis plus d'un an ont été sélectionnés. Pour choisir les 15 autres composteurs, une typologie des composteurs de pied d'immeuble a été réalisée. Ce travail a été effectué sur les 283 composteurs de pied d'immeuble en fonctionnement (sont compris les composteurs en difficulté) et inaugurés avant septembre 2015, date choisie pour s'assurer de la capacité du site à fournir un compost suffisamment mature. L'objectif était de classer ces 283 sites en activité en plusieurs catégories représentatives d'un type de fonctionnement.

Pour les composteurs de pied d'immeuble, quatre types de structures sont distingués par la Mairie de Paris : les immeubles résidentiels (H), les établissements scolaires (E), les sites publics (P) et les sites institutionnels (I). Au sein de chacune des catégories, les composteurs ont été séparés selon deux critères :

² Données de 2016 fournies par le référent du composteur de quartier Héloïse et Abélard.

³ Données fournies par le référent d'un composteur de pied d'immeuble rue de Reims.

- Le type de composteur : lombricomposteur, composteur en bac, ou mixte (présence d'un lombricomposteur et d'un composteur en bac sur le même site);
- Le nombre de foyers participants au temps T1, date à laquelle s'achève le suivi par la Mairie. Selon les sites, cette date se situe entre huit à dix mois après le lancement du site. La répartition s'est faite selon trois classes : foyers participants <10, 10≤ foyers participants<30, foyers participants ≥30. La limite à 10 foyers pour la première classe a été choisie car elle correspond au nombre de foyers à partir duquel la Mairie de Paris autorise normalement le compostage collectif. Dans la pratique et pour encourager le compostage, un grand nombre de composteurs alimentés par moins de 10 foyers existe.

La répartition des analyses a été effectuée au prorata des nombres de composteurs dans les classes définies par ces deux critères. L'annexe F récapitule la démarche adoptée.

Pour diverses raisons (compost déjà analysé dans le passé, référent très disponible...) la Mairie de Paris a tenu à ce que certains composteurs en particulier soient analysés. Un tirage aléatoire parmi les catégories présentées ci-dessus a été réalisé pour compléter la sélection. Les référents des sites à échantillonner ont ensuite été contactés. Pour certains, le compost du bac de maturation n'était pas assez mûr pour effectuer les analyses ; ces composteurs ont été remplacés par d'autres, par tirage au sort, jusqu'à aboutir à une liste finale de 20 sites ayant un compost mature et représentatifs des classes de la typologie. La liste et la localisation de ces sites se trouve en annexe G.

➤ **Echantillonnage**

Parmi les 20 sites sélectionnés, seuls 12 ont pu être prélevés pour des raisons d'organisation pratique. La campagne de prélèvement, effectuée sur six jours au mois de décembre et avec l'aide de personnes travaillant à la Mairie de Paris, a consisté au prélèvement d'un échantillon de compost par site sur les 12 sites. Dans le cas des composteurs en bac, chaque échantillon composite a été obtenu en mélangeant plusieurs sous-échantillons prélevés à différents endroits du bac à compost et à différentes profondeurs, en fonction de la quantité de compost mature disponible. Le prélèvement s'est fait en utilisant une tarière ou un récipient lorsqu'il restait peu de compost dans le bac. Dans le cas des lombricomposteurs, le compost mature a été prélevé dans le bac de récupération du lombricompost. Pour chaque composteur, une fiche d'information par prélèvement a été établie afin de rassembler les caractéristiques susceptibles d'influencer les résultats d'analyse (Annexe H). Les échantillons, d'un volume d'environ deux litres, ont été placés dans des sacs en plastiques identifiés, puis ont été transportés jusqu'au Laboratoire d'Agronomie de la Ville de Paris où les analyses ont été réalisées. Les échantillons ont été conservés au frais et à l'obscurité en attendant d'être transportés au laboratoire lorsque le transport ne pouvait pas se faire le jour même.

➤ **Analyses au laboratoire et évaluation des résultats**

Les caractéristiques suivantes des composts ont été déterminées : classe granulométrique, paramètres physiques, physico-chimiques, chimiques et biologiques, présence d'inertes et impuretés, éléments traces métalliques (détails des analyses en annexe I). La qualité des composts produits a été évaluée pour 17 échantillons (12 issus des prélèvements du mois de décembre plus les cinq analyses existantes). Il est à noter que l'ensemble des paramètres n'a pas été analysé pour tous les échantillons, selon le laboratoire et l'ancienneté des analyses (Annexe I). Deux aspects ont été considérés :

- La comparaison à la norme NFU 44-051 sur les critères pour lesquels des analyses ont été faites, à savoir des critères d'innocuité et certains paramètres agronomiques ;
- La valeur agronomique dans son ensemble, au travers des paramètres suivants : pH, rapport C/N et teneurs en matière sèche, matière organique, azote, phosphore, potassium et la somme des teneurs en azote-phosphore-potassium. L'analyse a consisté à comparer les valeurs trouvées pour chaque paramètre selon la typologie utilisée d'une part et selon les données présentes dans la littérature d'autre part.

4. Evaluation des excédents

Lors des visites annuelles de suivi des composteurs de pied d'immeuble, une des questions posées aux référents concerne les difficultés rencontrées dans le fonctionnement de leur composteur. La problématique des excédents de compost n'est cependant pas directement abordée. Ainsi, afin de recueillir un grand nombre d'avis, un questionnaire a été diffusé à l'ensemble des référents de sites de compostage en pied d'immeuble (Annexe J) grâce à une liste de diffusion. Ce questionnaire court nécessitant environ deux minutes, à compléter en ligne, avait pour but de connaître la proportion de sites ayant ou non des excédents de compost, et le cas échéant, d'en apprendre plus sur la gestion de ces excédents : quantité, débouché privilégié, périodicité sur une année, etc. Un questionnaire similaire a été diffusé aux 6 référents des composteurs de quartier. La question des excédents a aussi été abordée lors des entretiens et des visites.

III. Résultats

1. Formes de compostage collectif urbain

Les matrices SWOT (Figures 2. et 3.) mettent en lumière les caractéristiques, points communs et différences des composteurs de quartier et de pied d'immeuble. Dans le cas des composteurs de quartier, les démarches administratives d'installation du composteur et la gestion du site sont plus lourdes, alors que l'accompagnement des composteurs de pied d'immeuble est assuré par la Mairie. Les composteurs de quartier ont cependant l'avantage de ne pas nécessiter d'espace au sein d'un immeuble.

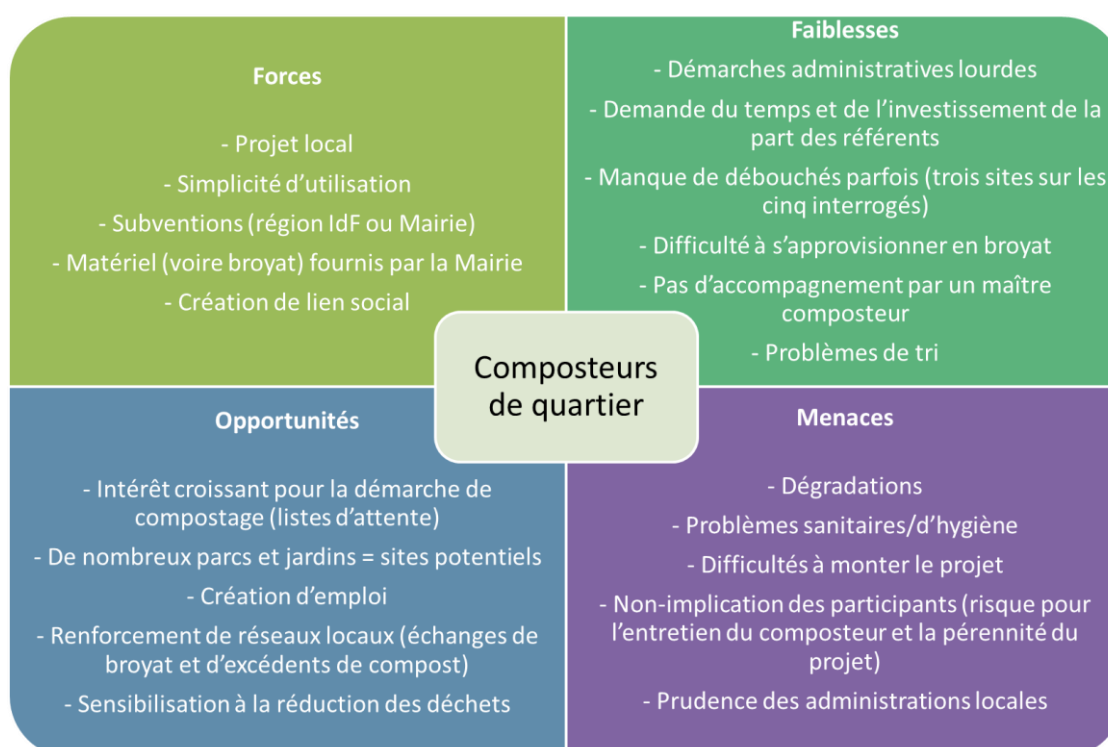


Figure 2. Matrice SWOT des composteurs de quartier⁴.

⁴ Figure réalisée à partir de six interviews de référents de composteurs de quartier et des visites des sites correspondant.

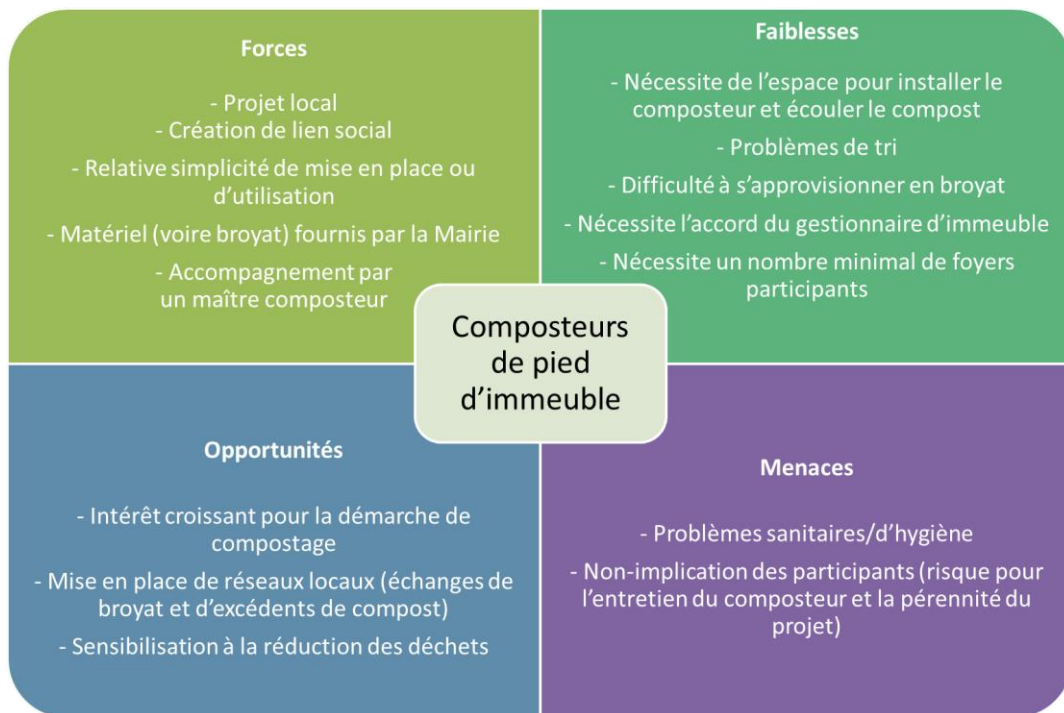


Figure 3. Matrice SWOT des composteurs de pied d'immeuble⁵.

2. Analyse des quantités de biodéchets évités et du compost produit

➤ Estimation du nombre de foyers participants

Fin 2015, le nombre cumulé de composteurs opérationnels de pied d'immeuble et de quartier était de 321 et le nombre cumulé de foyers participants était de 7 978 pour les foyers participants (Figure 4.). Les deux courbes présentent à peu près la même évolution, ce qui signifie qu'en moyenne d'une année sur l'autre le nombre moyen de participants par composteur reste le même. Les taux de croissance des composteurs et des foyers participants sont élevés (coefficients directeurs des régressions linéaires de 61 pour les composteurs et 1473 pour les foyers participants).

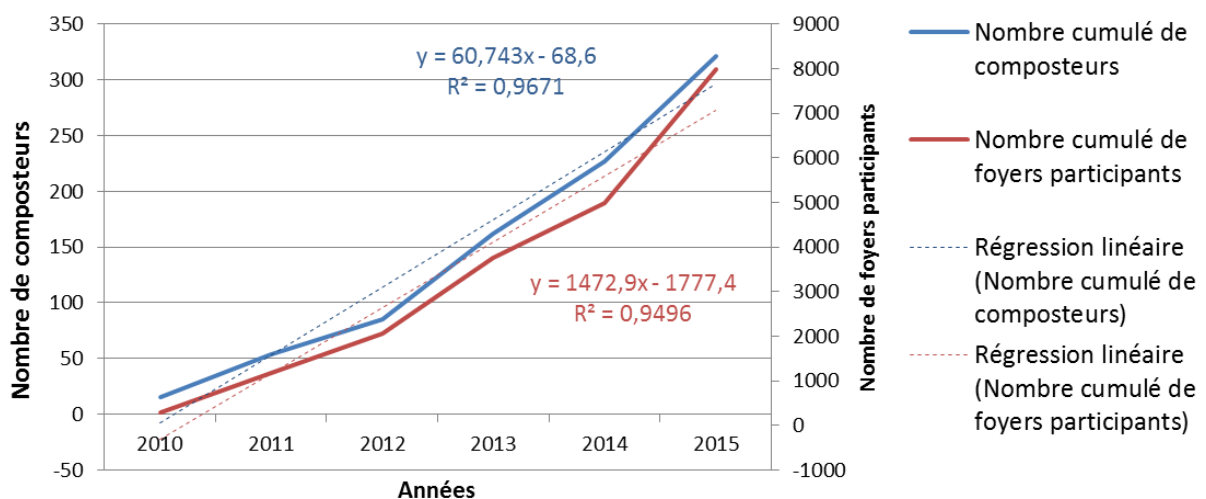


Figure 4. Evolution des nombres cumulés de composteurs et de foyers participants à Paris entre 2010 et 2015.

⁵ Figure réalisée à partir de quatre interviews avec des référents de composteurs de pied d'immeuble, des visites des sites correspondant et des réponses au questionnaire.

➤ **Estimation des quantités de biodéchets évités**

Le tableau 2 récapitule les quantités de biodéchets déposés par foyer et par an, ainsi que les quantités de biodéchets évités à Paris entre 2010 et 2015 pour chacun des deux scénarios. Les biodéchets évités depuis la création du compostage collectif se chiffrent entre 1500 et 2000 tonnes selon le scénario, le tonnage étant moins important pour le scénario "participation observée". L'estimation donnée par ce dernier paraît plus proche des quantités réelles évitées. En effet, il semble cohérent de considérer que dans tous les composteurs, certains foyers inscrits apportent en pratique très peu de biodéchets au composteur.

Par ailleurs, on peut noter que les quantités moyennes déposées par foyer sont inférieures au gisement potentiel estimé avec les chiffres de la Ville de Paris : ce gisement est de 77,5 kg/hab/an soit 193,8 kg/foyer/an. En se basant sur le scénario "participation active", on obtient un différentiel de 93 kg/foyer/an de biodéchets produits et non compostés. Ce chiffre peut s'expliquer par un tri imparfait des biodéchets et par la présence dans les biodéchets d'éléments non autorisés dans les composteurs parisiens (pain, produits carnés ou laitiers...).

Tableau 2. Données chiffrées pour les deux scénarios d'estimation de la quantité de biodéchets évités.

	Hypothèses sur les foyers participants	Quantité moyenne de biodéchets déposée par foyer et par an (kg/foyer/an)	Quantité de biodéchets évités entre 2010 et 2015 sur l'ensemble des composteurs parisiens (tonnes)
Scénario "participation observée"	Tous les foyers inscrits	73,32	1 486
Scénario "participation active"	Foyers inscrits ayant déposé au moins 12 fois des biodéchets	100,88	2 044

La figure 5 permet de visualiser les quantités de biodéchets évités par année selon les deux scénarios. Par exemple, en 2012, l'ensemble des composteurs collectifs en fonctionnement à Paris a permis d'éviter 151 tonnes de déchets selon le scénario "participation observée" ou 208 tonnes selon le scénario "participation active".

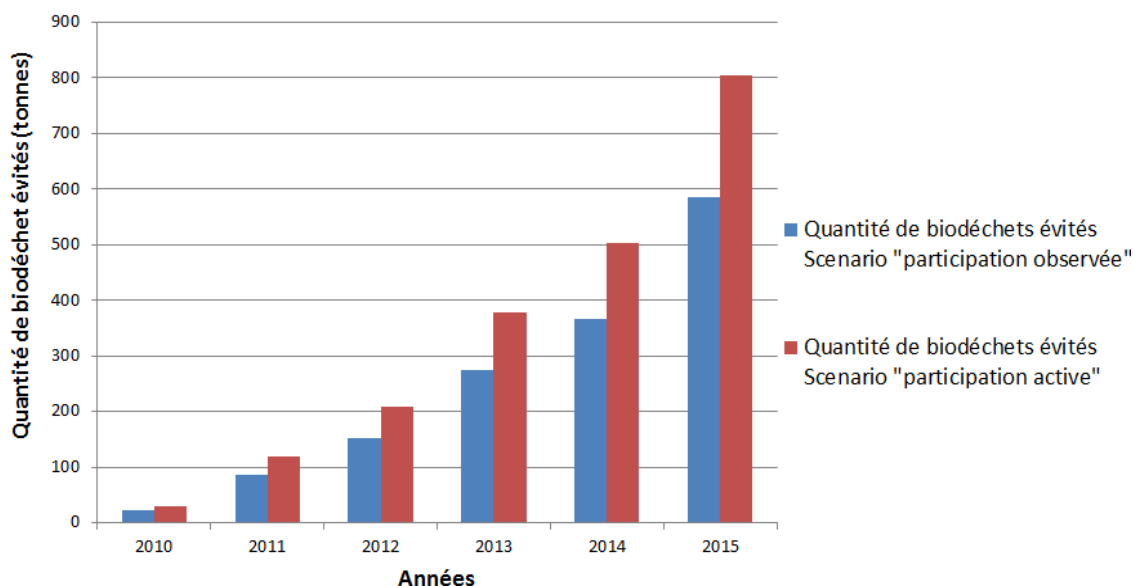


Figure 5. Quantités de biodéchets évités (en tonnes) par année selon les scénarios "Participation observée" et "Participation active".

➤ **Estimation de la production de compost**

La production de compost calculée selon le scénario "Participation observée" est de 431 tonnes et celle selon le scénario "Participation active" est de 593 tonnes.

3. Analyse de la qualité du compost produit

➤ **Analyse de la maturité des composts**

L'indicateur de respiration basale montre que neuf échantillons prélevés au mois de décembre sont mûrs (valeurs allant de 13,48 à 40,42 mgO₂/kgMS/h). Les trois autres composteurs ont révélé un compost en cours de maturation (valeurs allant de 50,57 à 75,51 mgO₂/kgMS/h).

➤ **Conformité à la norme NFU 44-051**

Sur les 17 composts, près d'un tiers sont conformes à la norme pour les critères analysés. Les autres composts comportent entre un et quatre critères non conformes. Cependant, il est à noter que certains composts n'ont pas été analysés pour tous les critères de la norme. Par exemple, le critère "composés traces organiques" n'a été évalué que pour trois composts sur les 17. La figure 6 présente le nombre de composts non conformes à la norme, pour chacun des critères de la norme, et donne une indication sur les critères les plus critiques.

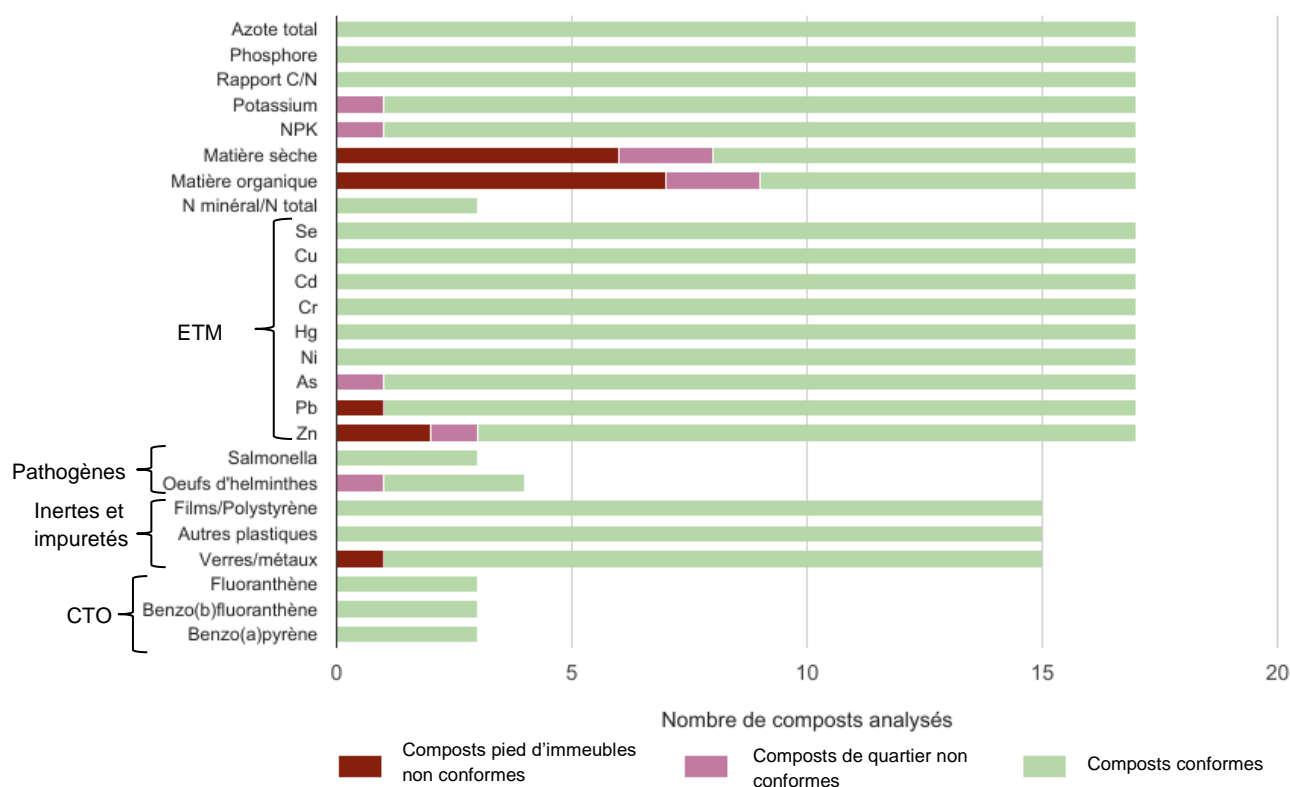


Figure 6. Conformité des échantillons de compost à la norme NFU 44-051

On remarque que certains critères ne posent jamais problème au regard de la norme. C'est le cas des films polystyrène et plastiques, composés traces organiques, teneurs en azote, phosphore, rapport C/N, et de la plupart des éléments traces métalliques. Des œufs d'helminthes ont été détectés dans un des composts de quartier, issu d'un prélèvement antérieur datant de juillet 2016.

Afin de répondre à la question de l'éloignement des composts non conformes par rapport à la norme, les critères pour lesquels au moins un échantillon n'était pas conforme ont été plus finement analysés. Pour chaque échantillon non conforme, l'écart en valeur absolue de la valeur prise par l'échantillon par rapport à la valeur normative a été calculé, et ce pour chaque critère évoqué ci-

dessus. La figure 7 représente la distribution de ces écarts. Plus l'écart est proche de zéro, plus l'échantillon est proche de la norme. Par exemple, un écart de 0,20 pour le critère matière sèche signifie que le compost analysé a une teneur en matière sèche *inférieure* de 20 % par rapport à la valeur inscrite dans la norme. Pour le plomb, un écart de 1,00 signifie que le compost excède de 100% la valeur limite indiquée par la norme (c'est-à-dire deux fois *supérieur* à la norme).

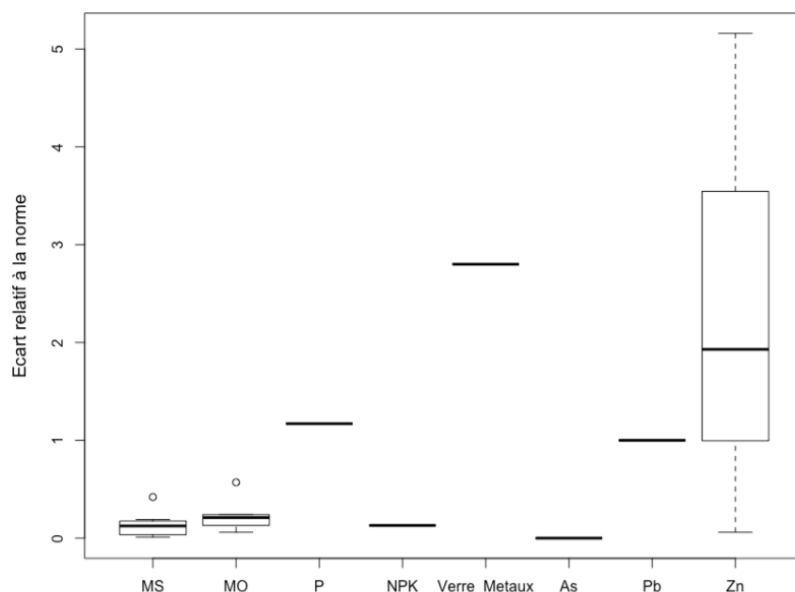


Figure 7. Ecart relatif par rapport à la norme selon les critères pour lesquels au moins un compost n'est pas conforme.

On remarque que pour la plupart des composts, l'écart par rapport à la norme est plutôt faible. Notamment, les teneurs moyennes en matière organique et matière sèche sont relativement peu éloignées de la norme (respectivement 0,14 et 0,21%). Les critères pour lesquels on trouve les composts les plus éloignés de la norme sont la teneur en phosphore, les verres et métaux ainsi que la teneur en zinc et le plomb.

➤ Valeur agronomique

Si on compare les différents composts entre eux selon les trois catégories utilisées dans la typologie établie (quartier/pied d'immeuble ; lombricompostage/compostage en bac ; nombre de participants ; annexe K), on remarque que les gammes de valeurs se chevauchent quelle que soit la catégorie étudiée pour les teneurs en MS, MO, N et K. La teneur moyenne en MS (Tableau 3) indique un fort taux d'humidité des composts. Pour ce qui est du pH et du C/N, des différences sont à noter. Les deux lombricomposts ont des pH plus élevés que ceux des composts de bac. Il n'y a pas de différence notable selon le nombre de participants. Quant au C/N, les plus faibles valeurs sont celles des lombricomposts. De plus, les composteurs de taille moyenne ont globalement des rapports C/N plus faibles que ceux de petite et grande tailles. Enfin, aucune différence notable n'est observée entre les prélèvements de composteur de quartier et de pied d'immeuble, quel que soit le paramètre étudié.

Les éléments P₂O₅, K₂O et NPK global ont des valeurs très dispersées (écart-types respectifs supérieurs aux moyennes associées, Tableau 3). Cette forte dispersion s'explique par deux échantillons ayant des valeurs très supérieures pour P et K par rapport aux autres (Annexe K). Cependant, il n'y a pas assez d'échantillons par catégorie pour conclure quant au caractère exceptionnel ou non de ces valeurs. A noter que ces échantillons ont été prélevés avant décembre 2016 et font partie des trois analysés par un laboratoire différent de celui des autres échantillons.

Tableau 3. Résultats obtenus pour les principaux paramètres agronomiques.

Paramètre	pH	C/N	MS (%MB)	MO (%MB)	N (%MB)	P2O5 (%MB)	K2O (%MB)	NPK global (%MB)
Moyenne	9,07	12,5	32,80	19,04	0,78	0,52	1,05	2,35
Ecart-type	0,87	1,6	8,76	4,73	0,22	0,53	1,46	1,92
Min-Max	7,18 - 10,33	9,4 - 15,7	17,50 - 54,10	8,70-28,6	0,39-1,26	0,18-1,97	0,30-6,52	1,28-9,19

Les composts sont donc relativement homogènes sur un plan agronomique, au regard des paramètres généraux étudiés. Cela est à nuancer pour la comparaison lombricompostage et compostage en bac, pour laquelle les paramètres pH et C/N ont des gammes de valeur disjointes. La caractérisation des composteurs selon le nombre de participants ou selon le type de composteur (quartier ou pied d'immeuble) ne montre pas de réelle différence au niveau des résultats. Cependant il faut garder en tête que le nombre d'échantillons pour chaque catégorie reste restreint (deux analyses seulement de lombricompost), ce qui rend difficile leur extrapolation à l'échelle de l'ensemble des composteurs de Paris.

4. Evaluation des excédents

140 référents de composteurs de quartier ont répondu au questionnaire. Parmi eux, presque 80% n'ont jamais eu d'excédent de compost ; 5,8% (sept sites) en ont systématiquement ; 15% (21 sites) en ont parfois. La figure 8 montre les réponses des 28 sites ayant parfois ou toujours des excédents de compost à deux questions du questionnaire :

"A combien évaluez-vous les excédents par rapport au compost produit ?" **"Que faites-vous des excédents de compost ?"**

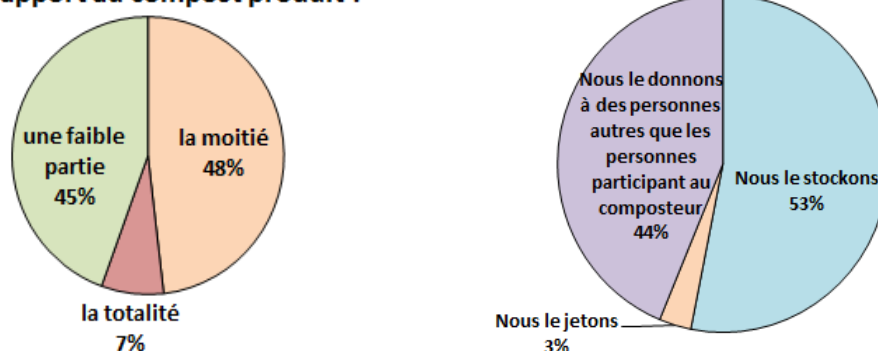


Figure 8. Réponses à deux questions du questionnaire des 28 référents des composteurs de pied d'immeuble ayant des excédents

Sur les 28 sites, presque la moitié affirme que les excédents se répartissent toute l'année. Parmi les autres, cinq ont des excédents en particulier pendant l'hiver. Ces 28 sites présentent une répartition entre les types E, I, P et H comparable à la répartition globale des composteurs de pied d'immeuble entre ces quatre types. La proportion de lombricomposteurs parmi les 28 sites (35%) est légèrement plus élevée que celle sur l'ensemble des sites (23%). Les lombricomposteurs sont donc légèrement plus concernés (en proportion) par les problèmes d'excédents que les composteurs en bac. Le manque de réponses précises concernant le nombre de foyers participants n'a pas permis de calculer la répartition des 28 composteurs entre les différentes classes de participants.

En ce qui concerne les composteurs de quartier, le plus récent n'a pas fini son premier cycle de production de compost et n'a pas pu se prononcer sur ses éventuels excédents. Parmi les cinq restants, deux n'ont jamais eu d'excédents, un en a parfois et deux en ont systématiquement. Ceux qui en ont parfois ou systématiquement ont indiqué le donner pour qu'il soit utilisé en agriculture urbaine (les jardins partagés et les Incroyables Comestibles[®] ont été mentionnés).

5. Débouchés actuels et potentiels

Lors de la phase de conception du projet, les composteurs collectifs doivent prévoir comment le compost sera écoulé. En théorie, l'absence de débouchés pour un composteur devrait freiner sa mise en place. Malgré cela, plusieurs composteurs ont des excédents de compost de manière plus ou moins fréquente.

Pour écouler ces excédents, différents débouchés ont été évoqués par les personnes interviewées au cours du projet et dans les réponses aux questionnaires. L'utilisation des excédents de compost dans les jardins et les parcs de la Ville de Paris est en accord avec le principe d'économie circulaire. Ces espaces verts publics possèdent le label Ecojardin, qui autorise les amendements organiques répondant à la norme NFU 44-051 et qui demande de privilégier les amendements produits en circuit-court [20]. Cependant, il y aurait une autosuffisance des jardins en amendements organiques⁶, ce qui fait d'eux un exutoire peu demandeur, irrégulier et non-durable pour les excédents de composts.

Le cas de l'agriculture urbaine a aussi été évoqué. En particulier, les micro-fermes urbaines, une des multiples formes d'agriculture urbaine, pourraient avoir un besoin de compost pour leur activité de production. La Ferme du Rail⁷, projet de ferme urbaine à proximité de la petite ceinture, prévoit une production de compost sur site, à partir de biodéchets collectés auprès de particuliers, de la restauration collective, ou issus de leur propre activité⁸. Néanmoins, une réflexion pourrait être menée à terme sur l'utilisation d'autres sources, comme les composts excédentaires des composteurs collectifs. On peut s'attendre à une augmentation de la demande en compost en ville dans les années à venir, d'autant plus que les projets d'agriculture urbaine sont appelés à se développer, suite aux politiques publiques favorisant l'émergence de ces initiatives (par exemple, l'appel à projet Parisculteurs qui vise également à la promotion de la végétalisation en ville).

Depuis juin 2015, les services de la DEVE de la Mairie de Paris délivrent des autorisations de végétaliser des lieux situés sur la voie publique aux citoyens en faisant la demande : les permis de végétaliser. Répartis dans toute la ville, ces lieux pourraient être demandeurs des excédents de compost. Ce débouché est intéressant car le dispositif permet le lancement de projets très variés de végétalisation en ville, avec ou sans objectif de production alimentaire.

IV. Discussion/Réponse à la problématique

1. Apports du projet

➤ **Formes de compostage collectif urbain**

Les deux formes de compostage collectif urbain présentent des avantages et des inconvénients et s'adressent à des publics différents, n'ayant pas les mêmes besoins et contraintes.

⁶ Opinion exprimée par un employé de la DEVE au cours d'un entretien.

⁷ Lauréate de l'appel à projet "Réinventer Paris" lancé par la Mairie en 2014.

⁸ Informations fournies par un des porteurs de projet de la Ferme du Rail.

Si à l'heure actuelle et du fait de leur faible nombre, les composteurs de quartier représentent peu de foyers participants (et donc peu de quantités de biodéchets évités), ils semblent toutefois bénéficier d'un fort taux de croissance ces dernières années (six sites créés en deux ans, représentant un total de 600 foyers participants). Pour les participants, ils ont l'avantage de ne pas nécessiter d'espace au sein des immeubles. Ils sont aussi une alternative aux personnes qui ne trouvent pas assez de foyers motivés dans leur immeuble pour y installer un composteur de pied d'immeuble, ou dont le gestionnaire de résidence n'accorde pas l'autorisation d'installer un composteur. En outre, ils sont situés dans des lieux publics, intégrés dans le paysage et sont visibles par tous, ce qui contribue à la promotion du compostage auprès du grand public. Cependant, il est ressorti de plusieurs entretiens que les démarches administratives d'installations des composteurs de quartier sont lourdes.

Pour les deux types de compostage, le suivi des quantités de biodéchets déposés n'est presque jamais effectué, car ce suivi ne présente pas d'intérêt en tant que tel pour les participants et les référents. Pour la Mairie de Paris, l'absence de relevés peut cependant poser des difficultés dans le cadre de l'évaluation des actions de prévention des déchets.

Enfin, si ce projet s'est surtout focalisé sur le compost produit (quantité et qualité), il est essentiel de souligner que ces deux manières de composter sont aussi pour de nombreux foyers participants un moyen de créer du lien social. Les deux types de composteurs remplissent ce rôle.

➤ **Analyse des quantités de biodéchets évités et du compost produit**

En considérant que la population de Paris intramuros est de 2,22 millions de personnes [21] et que chaque habitant produit en moyenne 349 kg d'ordures ménagères résiduelles par an, dont environ 22,2% sont fermentescibles [4], on obtient une production annuelle de biodéchets à Paris de 172 000 tonnes. La quantité de déchets évités grâce au compostage collectif en 2015 était de 805 tonnes selon le scénario "participation active". Cela correspond à 0,47% des biodéchets ménagers produits à Paris, ce qui reste infime. Cependant, il est intéressant de constater que ce chiffre est en constante augmentation depuis la mise en place des premiers composteurs à Paris : en 2010, les déchets évités représentaient 0,017% des biodéchets ménagers.

Avec cette augmentation, on peut imaginer que le problème des excédents risque de s'accroître dans les années à venir. Un cinquième des composteurs de pied d'immeuble ayant répondu au questionnaire est concerné par cette problématique. Ceux qui ont des excédents en ont plus l'hiver que l'été, ce qui peut s'expliquer par le fait qu'il s'agisse d'une saison peu propice au jardinage. Les lombricomposteurs semblent plus concernés par les excédents que les composteurs en bac ; en effet ils sont privilégiés dans les cas où il n'y a pas d'espace vert dans les immeubles. Ainsi les débouchés sur place sont réduits, d'où les excédents. Il est cependant difficile de tirer des conclusions à partir d'un effectif de 28 sites.

Les composteurs de quartier sont aussi concernés par la problématique des excédents. En effet, les foyers participants des composteurs de quartier n'ont parfois pas l'opportunité de créer un composteur dans leur immeuble à cause de l'absence d'espace vert. Or ces espaces verts dans les cours des immeubles représentent un débouché pour le compost. Une réflexion approfondie en amont de la mise en place du projet doit être engagée en ayant une vision globale de la filière et des modes d'écoulement possibles du compost, en lien avec les acteurs locaux. Par exemple, les liens entre jardins partagés et composteurs sont à favoriser, dans la mesure où certains jardiniers participent au compostage. En effet, les jardins étant un exutoire potentiel, les excédents de composts s'en trouvent réduit⁹.

⁹ C'est le cas par exemple pour le composteur de quartier du Jardin des Rosiers. Un jardin partagé est également sur le site et des échanges (de biodéchets et de composts) sont envisagés.

Une explication à la présence d'excédents pour les deux types de composteurs pourrait être que de nombreux participants prennent part au compostage dans une démarche de réduction de leurs déchets sans être nécessairement demandeurs de compost.

➤ **Analyse de la qualité du compost produit**

Les analyses effectuées ont montré que les composts prélevés ne sont pas tous conformes à la norme. Les teneurs élevées en ETM dans certains échantillons et la présence de pathogènes dans un compost soulèvent des questions quant à l'innocuité des composts. Les ETM, qui sont non dégradables et polluants en grande quantité, se retrouvent concentrés par le processus de compostage. L'épandage de ces composts peut entraîner un transfert de pollution vers le compartiment sol et vers les plantes si les conditions sont réunies. La culture de légumes sur un compost pollué pourrait donc représenter un risque pour les consommateurs. Une cause possible de la concentration élevée d'un des échantillons en plomb pourrait être que les biodéchets apportés dans ce composteur soient issus d'aliments produits à proximité de routes, ou que le broyat provienne de l'élagage d'arbres en bord de route. Les concentrations élevées en zinc de deux composts et la présence de verre et métaux dans un compost pourraient venir d'erreurs de tri (piles, tôles en zinc, articles en laiton par exemple). Par ailleurs, la présence d'œufs d'helminthes dans un composteur de quartier pourrait être liée à des déjections animales : plusieurs référents ont évoqué avoir aperçu des rats ou des souris à proximité des bacs. Deux hypothèses peuvent être émises : l'échantillon non conforme contenait une fraction de compost n'ayant pas séjourné suffisamment au centre du bac (où les températures sont les plus élevées) lors de la phase thermophile; ou bien l'échantillon a été contaminé lors de la phase de maturation.

D'autre part, si les trois composts analysés pour le critère "composés traces organiques" sont conformes à la norme, des analyses supplémentaires sur d'autres échantillons seraient nécessaires pour généraliser l'absence de polluants organiques. Toutefois, le risque de trouver ces composés dans un compost peut provenir aussi bien des résidus de pesticides apportés par les déchets verts que des biodéchets.

Un moyen de limiter le risque est de s'assurer que la maturation soit complète. En effet, cette étape importante du compostage permet d'optimiser la dégradation des polluants organiques et de diminuer la mobilité des ETM au sein et entre les compartiments (composts, sols, eau, plantes) [22].

Au sujet de la valeur agronomique des composts, les valeurs moyennes du rapport C/N, du pH, des éléments N, P et K, (Tableau 3) concordent avec les données disponibles sur des composts industriels de biodéchets produits en France et en Suisse (Tableau 1). Cela dit, la teneur en MO des composts prélevés, bien que comprise dans la gamme de valeurs issue de la littérature, est inférieure à la moyenne des composts industriels de biodéchets. Le C/N étant de 12,5, cela corrobore la maturité des composts analysée plus haut avec la respiration basale [10]. La teneur moyenne en MS, inférieure aux données de la littérature indique que les composts prélevés sont très humides. Cependant, les données provenant de la littérature sont très dispersées, il ne semble donc pas y avoir de taux de MS de référence. D'autre part, les composts prélevés ont montré un caractère basique. De fait, ils apparaissent comme de bons produits pour corriger les sols ayant un pH trop acide et permettre ainsi une meilleure disponibilité des éléments pour les plantes. Ainsi, les analyses montrent l'intérêt des composts prélevés pour l'amendement des sols et des cultures.

Toutefois, quelle que soit la valeur agronomique du compost, son utilisation doit être réfléchie de manière intégrée, c'est-à-dire en prenant en compte les caractéristiques du système dans lequel il sera employé, du sol sur lequel il est envisagé de l'épandre, de l'usage prévu de la zone, des besoins des plantes considérées, etc.

➤ **Débouchés actuels et potentiels**

Comme décrit précédemment, le nombre de composteurs est en constante augmentation. Il y a donc fort à parier que la quantité d'excédents de compost augmentera elle aussi dans les années à venir.

Dans le même temps et malgré des initiatives datant de plusieurs années, ce n'est que depuis très récemment qu'autant de projets de végétalisation de la ville voient le jour. Ces derniers répondent entre autres aux attentes de plus en plus marquées des parisiens envers la qualité de leur environnement et de leur cadre de vie. Ces initiatives pourraient être demandeuses de compost, d'autant plus que les sols urbains sont souvent de qualité médiocre. Ils sont généralement fortement contaminés, notamment par des métaux lourds, du fait des activités humaines et industrielles, passées et actuelles [23]. Utiliser des composts en substitution sur des terres polluées est une piste à envisager et aurait en plus l'avantage de diminuer les importations de terres agricoles. Les projets de végétalisation de la ville apparaissent donc comme un débouché potentiel pour les excédents de compost. Actuellement, les services de la DEVE sont en charge de ces projets, alors que la thématique du compostage collectif est gérée par la DPE. Des interactions existant entre ces thématiques, un rapprochement des deux directions serait intéressant pour réfléchir aux synergies réalisables.

Toutefois, le principal frein à l'utilisation des excédents de composts reste la réglementation, avec notamment la norme NFU 44-051. Cette dernière, pensée en premier lieu pour le compost industriel, semble peu adaptée au compost issu des composteurs collectifs en contexte urbain. Une évolution de la norme serait souhaitable et a été évoquée par plusieurs des acteurs interrogés. Elle pourrait par exemple distinguer plusieurs usages et autoriser le don de compost urbain non normé de biodéchets dans les cas où ce dernier a pour vocation la culture de plantes ornementales non comestibles.

2. Limites de l'étude

Certaines étapes de cette étude se sont heurtées à des limites. En premier lieu, les chiffres utilisés pour les calculs des quantités produites de biodéchets et de compost proviennent du croisement de plusieurs sources. Le manque de données dans la littérature n'a pas permis de les confronter à d'autres chiffres. D'autre part, l'estimation du nombre de foyers participants peut avoir été surestimée lors de la collecte d'informations à la fin du suivi.

Lors de la phase d'échantillonnage des composts, des difficultés de prélèvement ont été rencontrées, ajoutant une incertitude aux résultats obtenus. En effet le matériel (tarière fournie par le Laboratoire d'Agronomie) s'est révélé peu adapté pour prélever le compost, celui-ci étant parfois en petite quantité et trop peu dense pour pouvoir creuser dedans.

La phase d'échantillonnage avait aussi pour objectif de recueillir auprès des référents un certain nombre d'informations et notamment l'âge des composts. Or, ces âges ont été difficiles à estimer, les référents ne se souvenant parfois pas avec précision de la date de transfert de bac. Ainsi, il se peut que des composts d'âges différents aient été échantillonnés et comparés à la norme. Or cette dernière s'applique à des composts ayant atteint leur maturité. De plus, l'âge auquel le compost est mature dépend des conditions de compostage dans les composteurs collectifs urbains.

Par ailleurs, la norme NFU 44-051 prévoit pour l'azote, le phosphore, le potassium, la somme des trois et la MO des seuils de concentration en pourcentage sur la matière brute. Or, selon les cas, le compost peut-être plus ou moins humide au moment de l'analyse en laboratoire. Ainsi, comparer ces caractéristiques à la matière brute et non pas sèche peut avoir pour conséquence de surestimer ou sous-estimer certaines proportions. D'autre part, certains composts n'ont pas été analysés selon tous

les critères de la norme. Des analyses sur un nombre plus important de composts auraient été nécessaires pour s'assurer de l'absence de risques selon ces critères, notamment pour les critères microbiologiques et les teneurs en polluants organiques.

Enfin, l'interprétation de la valeur agronomique des composts s'est limitée à la discussion sur les principales caractéristiques chimiques et physico-chimiques. Il aurait été intéressant de commenter d'autres valeurs, comme la teneur en micronutriments (magnésium, calcium, sodium). Un temps supplémentaire dédié à la recherche de références aurait été nécessaire.

3. Perspectives et préconisations

La qualité du compost urbain est un enjeu d'importance si l'on veut encourager la démarche de compostage et maintenir les composteurs en fonctionnement. La poursuite de prélèvements et analyses sur composts est à préconiser pour valider à plus grande échelle les résultats obtenus à l'issue de cette étude. L'obtention d'un compost de bonne qualité se joue à plusieurs niveaux :

- Lors des apports : il convient donc de continuer à insister sur les consignes de tri et sur l'importance de réduire les déchets imposants en morceaux.
- Une attention particulière doit être portée sur la qualité du broyat utilisé. Des analyses pourraient être effectuées.
- Lors du processus de compostage : l'importance du brassage des déchets et du respect du temps de maturation (six mois minimum dans le bac de maturation pour s'assurer d'obtenir un compost stable) doivent être rappelés aux participants.
- L'installation de grilles anti-rongeurs sous les bacs permettrait d'éviter l'apparition et le développement de pathogènes dans le compost.

D'autre part, dans le cas où les référents de composteur de quartier ne sont pas maîtres composteurs, un accompagnement supplémentaire pourrait être envisagé pour le suivi du site (au moins la première année). Des rencontres entre référents pourraient également être organisées afin de partager les expériences et d'échanger des conseils pour améliorer le fonctionnement des sites.

Dans la perspective où le nombre de composteurs continuerait d'augmenter selon le taux de croissance actuel (61 nouveaux composteurs par an selon la régression linéaire), le problème des excédents risque de prendre de l'ampleur à l'avenir. Afin de bien cibler les composteurs qui rencontrent ce problème et les quantités en jeu, il conviendrait de poser systématiquement la question des excédents lors des suivis annuels. Il serait également intéressant d'étudier plus finement les raisons pour lesquelles les composteurs ont des difficultés à écouler le compost, au travers par exemple d'entretiens avec les référents des sites identifiés comme ayant déjà été soumis à cette problématique grâce au questionnaire (absence d'espace vert dans l'immeuble, participants ne récupérant pas de compost, etc.).

Un frein au compostage collectif à Paris semble être les démarches administratives nécessaires à l'implantation des composteurs de quartier, mentionnées par plusieurs des référents rencontrés. Un document à destination des référents clarifiant les informations nécessaires pour mettre en place un projet de composteur de quartier (par exemple, rappelant qu'une association doit porter le projet et signer la convention d'occupation) constituerait une aide.

V. Conclusion

A Paris, la Mairie encourage la mise en place du compostage collectif au travers de deux types de composteurs : les composteurs de pied d'immeuble et les composteurs de quartier. Ces derniers varient dans leurs fonctionnements, leurs contraintes et leurs avantages.

Afin d'estimer les quantités de biodéchets évités grâce au compostage collectif à Paris, le nombre de foyers participants aux composteurs de pied d'immeuble et de quartier ainsi que la masse moyenne de biodéchets apportés au composteur ont été déterminés. En 2015, 805 tonnes de biodéchets ont été évitées, ce qui représente 0,47% des biodéchets ménagers produits à Paris cette même année. Si ce chiffre peut paraître infime, il est cependant en constante augmentation depuis la mise en place des premiers composteurs collectifs à Paris.

Par ailleurs, des analyses de composts prélevés dans 12 composteurs sélectionnés selon leur type de structure, leur nombre de foyers participants et leur méthode de compostage (en bac ou en lombricomposteur) ont été effectuées afin de mettre en évidence les principales caractéristiques chimiques et physico-chimiques des composts collectifs. La non-conformité de certains échantillons à la norme NFU 44-051 suggère des erreurs de tri lors des apports et/ou une étape de maturation incomplète. D'autre part, les analyses ont révélé l'intérêt agronomique de ces matières d'un point de vue amendant. Toutefois, leur utilisation doit être réfléchie selon les usages et types de sols.

Enfin, l'envoi d'un questionnaire à l'ensemble des composteurs collectifs a permis d'évaluer la proportion de ces derniers ayant des excédents de compost et de mieux en cerner les enjeux (quantités en excédent, débouchés envisagés, saisonnalité...). Un composteur de pied d'immeuble sur cinq a, de manière plus ou moins systématique, des excédents de compost. Cette problématique concerne trois composteurs de quartier sur les cinq ayant achevé au moins un cycle de production de compost depuis leur ouverture.

Devant ces chiffres et la probable augmentation du nombre de composteurs collectifs dans les années à venir, la question des débouchés doit être considérée dès à présent. Dans le cadre de l'économie circulaire promue par la Mairie de Paris, l'utilisation en local du compost dans des projets d'agriculture urbaine ou de revégétalisation semble une solution à explorer. Elle reste à ce jour entravée par la nécessité de vérifier la conformité du compost à la norme NFU 44-051 avant de le donner à une personne n'ayant pas contribué à sa production. Ayant en vue l'horizon 2025, date à laquelle le tri à la source des déchets organiques sera généralisé pour tous les producteurs [24], des solutions complémentaires devront être proposées aux particuliers. Si le compostage collectif n'a pas vocation à gérer la totalité des biodéchets produits à Paris, le dispositif apporte néanmoins l'avantage de sensibiliser les citoyens au tri des déchets organiques. Il est probable que ce début de prise de conscience permettra de faciliter la transition vers le tri à la source lorsque ce dernier sera généralisé.

VII. Références bibliographiques

- [1] Ministère de l'écologie et du développement durable, 2004, Prévention de la production de déchets.
- [2] Parlement Européen et Conseil, Directive CE n° 2008/98/CE du 19/11/08 relative aux déchets et abrogeant certaines directives. JOUE n° L 312, 22 novembre 2008, p.3.
- [3] Code de l'environnement, article L541-1, Version en vigueur du 19 août 2015, version consolidée du 16 février 2017.
- [4] 2015, Rapport annuel sur le prix et la qualité du service public de gestion des déchets à Paris. Mairie de Paris, Direction de la propreté et de l'eau, Service de l'expertise et de la stratégie. 92 p.
- [5] AFNOR. Amendements organiques - Dénominations, spécifications et marquages. Norme française NFU 44-051. Décembre 2010.
- [6] Saveyn, H.; Eder, P., 2014, End-of-waste criteria for biodegradable waste subjected to biological treatment (compost and digestate): Technical proposals. Bruxelles: European Commission, 312 p.
- [7] Houot, S., Pons, M.-N., Pradel, M., Tibi, A., 2016, Recyclage de déchets organiques en agriculture - Effets agronomiques et environnementaux de leur épandage. Editions Quae, France, 203 p.
- [8] Francou, C., 2003, Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets urbains : influence de la nature des déchets et du procédé de compostage - recherche d'indicateurs pertinents. Thèse de doctorat. Planète et Univers. INAPG (AgroParisTech). 290 p.
- [9] Larsen, K. L., McCartney, D. M., 2000, Effect of C:N ratio on microbial activity and N retention in bench-scale study using pulp and paper biosolids. *Compost Science & Utilization*, 8, 2, pp. 147-159.
- [10] Eggen, T., Vethe O., 2001, Stability indices for different composts. *Compost Science & Utilization*, 9, 1, pp. 19- 26.
- [11] Benoît, P., Brugère, H., Casellas, M., et al., Caractéristiques physico-chimiques et biologiques des Mafor. Expertise scientifique collective, rapport final, INRA-CNRS-Irstea (France), 2014, 249 p.
- [12] Nicolardot, B., Chaussod, R., Morel, J.L., Guckert, A., Benistant, D., et al., 1986, Appréciation simple de la maturité des composts urbains en relation avec leurs effets sur la production végétale. *Agronomie*, EDP Sciences, 1986, 6 (9), pp.619-827.
- [13] ADAESO-APESA, 2006. *La valeur agronomique des composts*, 42 p.
- [14] Houot, S., et al. 2014, Valorisation des matières fertilisantes d'origine résiduaire sur les sols à usage agricole ou forestier : impacts agronomiques, environnementaux, socio-économiques. Expertise scientifique collective, synthèse, INRA-CNRS-Irstea (France) 108 p.
- [15] ENIDD, Valorisation des déchets organiques - Etude et proposition d'un système innovant, clé en main de lombricompostage. Disponible sur : http://www.lorraine.ademe.fr/sites/default/files/files/Mediatheque/Publications/Dechet/Etude_MCS_Innotech_-_Valorisation_des_dechets_organiques_par_lombricompostage.pdf (consulté le 14/02/2017).
- [16] Nante Métropole, 2015, Faire son compost pour réduire les déchets et enrichir le jardin. Version mise à jour le 25 août 2015. Disponible sur : <http://www.nantesmetropole.fr/pratique/dechets/le-compostage-23193.kjsp?RF=1250010261568> (consulté le 14/02/2017)
- [17] Dohogne, J.J., 2012, Inventaire des bonnes pratiques en matière de minimisation des (bio) déchets en Europe, Miniwaste. Commission européenne. 217 p.
- [18] Vérillon, F., 2014, Étude quantitative d'une expérience de compostage collectif en pied d'immeuble parisien en vue de son extension à l'échelle du quartier. *Techniques Sciences Méthodes*, (11), pp. 63-71.
- [19] Zdanevitch, I., 2012, Etude comparative de la qualité de composts et de digestats issus de la fraction fermentescible des ordures ménagères, collectée séparément ou en mélange. Ineris, France, 124 p.
- [20] Micand, A., Larramendy, S., 2014, Référentiel de gestion écologique des espaces verts EcoJardin. Plante & Cité, Angers, 86 p.
- [21] INSEE, Populations légales 2014 - Recensement de la population. France, 2014.

- [22] Houot, S., et al. 2003, Valeur agronomique et impacts environnementaux de composts d'origine urbaine : variation avec la nature du compost. Agriculture et épandage de déchets urbains et agro-industriels, 25, pp. 107-124.
- [23] Schwartz, C., 2013. Les sols de jardins, supports d'une agriculture urbaine intensive, VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement.
- [24] Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer, Biodéchets. Version mise à jour le 8 février 2017. Disponible sur <http://www.developpement-durable.gouv.fr/biodechets> (consulté le 16/02/2017).

VIII. Annexes

Annexe A Norme NFU 44-051

Tableau A.1. Restrictions à respecter dans le cadre de la norme NFU 44-051

Caractéristiques de l'échantillon	
Matière sèche	$\geq 30\%$ sur MB
Azote total	$N < 3\%$ sur MB
Phosphore	$P_2O_5 < 3\%$ sur MB
Potassium	$K_2O < 3\%$ sur MB
NPK en valeur globale	$N + P_2O_5 + K_2O < 7\%$ sur MB
Azote minéral/Azote total	N minéral (formes nitrique + ammoniacale + uréique) $< 33\%$ de l'N total
Rapport C/N	$C/N > 8$
Matière organique <i>Critère spécifique aux amendements organiques de type 5</i>	$MO \geq 20\%$ MB
Eléments traces métalliques - Valeurs seuils (mg/kg MS)	
Arsenic	As < 18
Cadmium	Cd < 3
Chrome	Cr < 120
Mercuré	Hg < 2
Nickel	Ni < 60
Plomb	Pb < 180
Sélénium	Se < 12
Cuivre	Cu < 300
Zinc	Zn < 600
Critères micro-biologiques - Agents pathogènes	
Oeufs d'helminthes viables	Absence dans 1,5 g pour toutes cultures
<i>Salmonella</i>	Absence dans 1g pour toutes cultures sauf maraîchère (dans ce cas, absence dans 25g)

Inertes et impuretés	
Films + Polystyrène expansé >5mm	< 0,3% MS
Autres plastiques >5mm	< 0,8% MS
Verres + métaux >2mm	< 2,0%MS
Composés traces organiques - Valeurs limites (mg/kg MS)	
HAP	
- fluoranthène	4
- benzo(b)fluoranthène	2,5
- benzo(a)pyrène	1,5

Annexe B
Exemples de composteurs collectifs utilisés à Paris



Figure B.1. Composteur de pied d'immeuble du lycée Janson de Saily (Paris 16ème). Source : Claire Gaffier (décembre 2016)



Figure B.2. Pavillon de compostage du composteur de quartier au square Héloïse et Abélard. Source : blog Compost à Paris



Figure B.3. Composteur de quartier du Jardin de la Félicité. Source : Céliane Bouin (décembre 2016)



Figure B.4. Lombricomposteurs collectifs de 600 et 400 L. Source : <http://lombricoll.blogspot.fr>

Annexe C
Localisation des composteurs de quartier

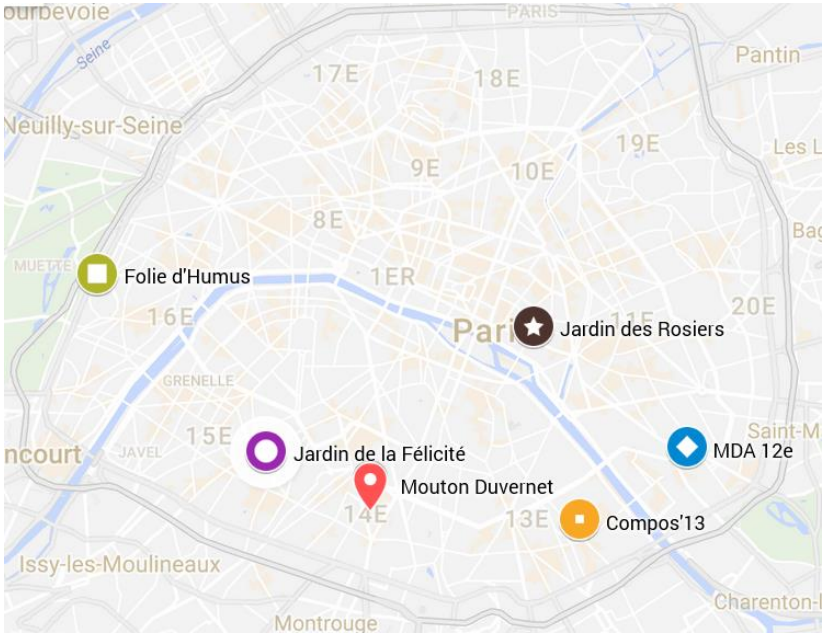


Figure C.1. Localisation des composteurs de quartier opérationnels

Annexe D
Liste des personnes interrogées pour le projet

Tableau D.1 : Liste des personnes interrogées pour le projet

Nom et prénom	Fonction	Date de l'entretien
Jacques-Olivier BLED	Service des Sciences Techniques et du Végétal, DEVE Chargé de mission agriculture urbaine	01/12/2016
Stéphane BOURGEOT	Référente du composteur de quartier du Jardin de la Félicité (15ème)	10/11/2016
Corinne BUSSI-COPIN	Référent du composteur de quartier Mouton Duvernet (14ème)	04/11/2016
Jérôme CANET	Référent du composteur de quartier Jardin des Rosiers (4ème)	18/11/2016
Mary DYSON	Référente de composteur de pied d'immeuble (2ème)	12/12/2016
Jean-Jacques FASQUEL	Composteur de quartier Maison des Associations (12ème)	07/11/2016
Damien HOUBRON	Référent du composteur de quartier square Héloïse et Abélard (13ème)	08/11/2016
Madeleine KESSEDJAN	Référente de composteur de pied d'immeuble (15ème)	10/12/2016
Arnaud LANGE	Chef de mission technique au sein du Service Exploitation des Jardins de la DEVE	07/12/2016
Alexandra LHUISSIER	Chargée de la prévention des déchets, Direction Générale Adjointe de l'Exploitation et de la Prévention des Déchets au Sycotm	20/11/2016
Marine LINGLART	Gérante et directrice d'UrbanEco	22/12/2016
Mme. LOMBARD	Référente de composteur de pied d'immeuble (16ème)	12/12/2016
François NOLD	Directeur du Laboratoire d'Agronomie de la Ville de Paris	29/11/2016
Philippe PEIGER	Paysagiste et expert en agro-écologie urbaine impliqué dans le projet de la Ferme du Rail	08/02/2017
Peter REINHARDT	Référent du composteur de quartier Mouton Duvernet (14ème)	04/11/2016
Catherine SALON	Référente du composteur de quartier du Jardin de la Félicité (15ème)	10/11/2016
Alexis TREBOIT	Référent du composteur de quartier Folie d'Humus (16ème)	12/12/2016
Francis VERILLON	Référent de composteur de pied d'immeuble (13ème)	12/01/2017

Annexe E
Bilan massique du compostage

Tableau E.1. Comparaison des données sur le bilan massique du compostage

Source	Type de compost	Taux de conversion	Pourcentage de refus	Perte par le processus de compostage
Ineris [12]	Compost industriel ($\frac{1}{2}$ biodéchets, $\frac{1}{2}$ broyat déchets verts)	25 à 30%	25 à 30 %	50 à 60%
Référent d'un composteur de pied d'immeuble	Compost collectif ($\frac{2}{3}$ biodéchets, $\frac{1}{3}$ broyat)	29%	18%	53%

Annexe F Analyse de la qualité

Détails de la méthode utilisée pour la typologie des composteurs de pied d'immeuble

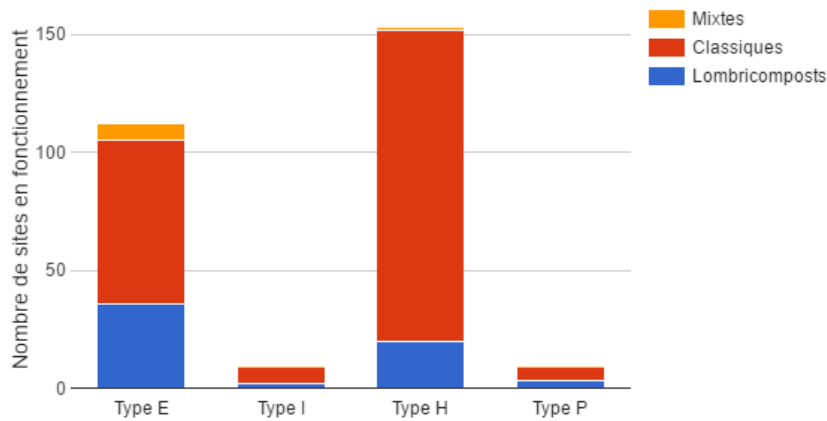


Figure F.1. Répartition des composteurs en pied d'immeuble selon le type de compostage

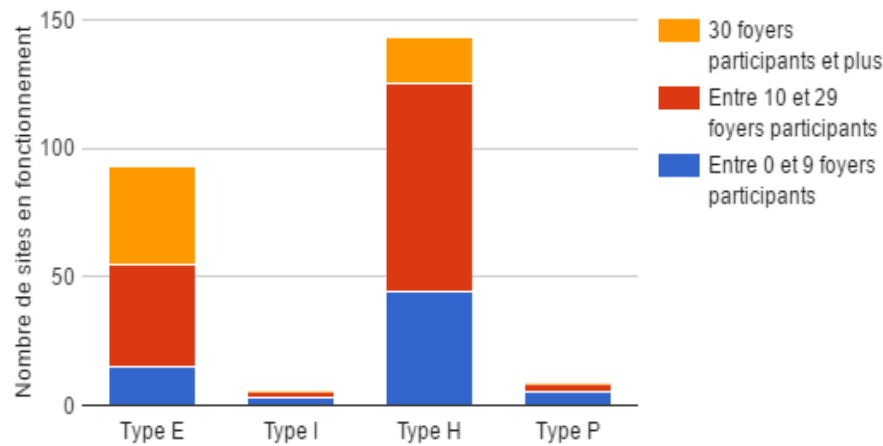


Figure F.2. Répartition des composteurs en pied d'immeuble selon le nombre de participants

Tableau F.1. Détermination du nombre d'analyses à effectuer par catégorie de composteurs de pied d'immeuble

	Type E	Type I	Type H	Type P
Nombre de composteurs	112	9	153	9
Proportion	0,40	0,03	0,54	0,03
Répartition des 15 analyses (prorata)	5,9	0,48	8,1	0,48
Entier choisi	5	1	8	1

Pour répartir les analyses entre les différentes classes, le critère du type de composteur (lombrics, classiques, mixtes) a d'abord été utilisé, comme le montre le tableau ci-dessous.

Tableau F.2. Répartition des analyses entre les types de composteurs en pied d'immeuble

	Type E	Type I	Type H	Type P
Nb Lombrics	36	2	20	3
Nb Classiques	69	7	132	6
Nb Mixtes	7	0	1	0
Entier choisi total	5	1	8	1
Entier choisi Lombrics	1	0	1	0
Entier choisi Classiques	2	1	7	1
Entier choisi Mixte	1 (soit 2 échantillons)	0	0	0

Ensuite, le deuxième critère concernant le nombre de foyers a été pris en compte. Les tableaux ci-dessous illustrent la répartition des analyses pour les différents types de composteurs.

Tableau F.3. Répartition finale des analyses entre les classes définies selon deux critères (types de composteurs et nombre de foyers participants), pour les composteurs de pied d'immeuble de type H.

Composteurs H 8 sites à analyser	Nombre de foyers participants		
	<10	10-30	30 - 200
Lombri		1	
Classiques	2	4	1
Mixtes			

Tableau F.4. Répartition finale des analyses entre les classes définies selon deux critères (types de composteurs et nombre de foyers participants), pour les composteurs de pied d'immeuble de type E.

Composteurs E 5 sites à analyser	Nombre de foyers participants		
	<10	10-30	30 - 200
Lombri		1+1 (choix Mairie)	
Classiques		1	1
Mixtes			1

Tableau F.5. Répartition finale des analyses entre les classes définies selon deux critères (types de composteurs et nombre de foyers participants), pour les composteurs de pied d'immeuble de type E.

Composteurs I 1 site à analyser	Nombre de foyers participants		
	<10	10-30	30 - 200
Lombri			
Classiques	1		
Mixtes			

Tableau F.6. Répartition finale des analyses entre les classes définies selon deux critères (types de composteurs et nombre de foyers participants), pour les composteurs de pied d'immeuble de type P.

Composteurs P 1 site à analyser	Nombre de foyers participants		
	<10	10-30	30 - 200
Lombri			
Classiques	1	Mairie : +1	
Mixtes			

Annexe G

Résumé campagne de prélèvement

Tableau G.1. Liste des 20 composteurs sélectionnés et des 12 sites ayant été prélevés

Remarques :

- Les composteurs indiqués en gras sont ceux ayant dans lesquels un échantillon de compost a été prélevé.

- H : immeuble résidentiel ; E : établissement scolaire ; P : site public ; I : site institutionnel

* Lors du prélèvement, il s'est révélé que ce composteur n'était plus mixte, mais seulement un lombricompost.

N°	Type de composteur		Méthode de compostage	Nb foyers (T1)	Adresse
1	Quartier		En bac	130	181 avenue Daumesnil 12ème
2	Quartier		En bac	200	22 rue Pierre Gourdault 13ème
3	Quartier		En bac	80	20 rue Saillard 14ème
4	Quartier		En bac	60	24 rue Paul Barruel 15ème
5	Pied d'immeuble	I	En bac	5	42-44 rue des Volontaires 15ème
6	Pied d'immeuble	P	En bac	4	145 avenue de la gravelle 12ème
7	Pied d'immeuble	P	En bac	20	2 quai de la Marne 19ème
8	Pied d'immeuble	E	Lombricomposteur	14	39 rue des 3 bornes 11ème
9	Pied d'immeuble	E	Lombricomposteur	75	6 rue Littré 6ème
10	Pied d'immeuble	E	En bac	20	106 rue de la Pompe 16ème
11	Pied d'immeuble	E	En bac	100	10 rue de Ménilmontant 20ème
12	Pied d'immeuble	E	Mixte*	52	144 rue de la Roquette 11ème
13	Pied d'immeuble	H	En bac	8	14 rue Dénoyez 20ème
14	Pied d'immeuble	H	En bac	<10	6 rue de Tocqueville 17ème
15	Pied d'immeuble	H	Lombricomposteur	10	11 rue Vavin 6ème
16	Pied d'immeuble	H	En bac	13	79 rue Réaumur 2ème
17	Pied d'immeuble	H	En bac	18	72 rue de la colonie 13ème
18	Pied d'immeuble	H	En bac	23	4 rue Auguste Perret 13ème
19	Pied d'immeuble	H	En bac	35	10-12 rue de Reims 13ème
20	Pied d'immeuble	H	En bac	18	31 boulevard serrurier 19ème

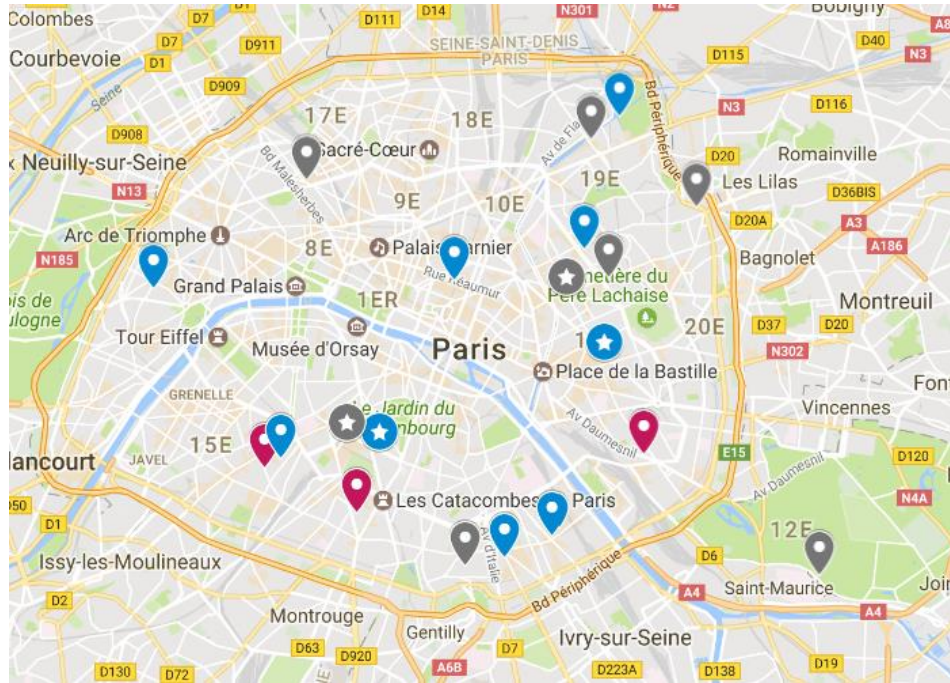


Figure G.1. Localisation des 20 composteurs retenus pour la campagne de prélèvement de décembre 2016
 (en bleu : les composteurs de pied d'immeuble prélevés; en rouge : les composteurs de quartier prélevés; en gris : les composteurs non prélevés -tous des composteurs de pied d'immeuble-; étoile : lombricomposteur; point : composteur classique)

Annexe H

Fiche de prélèvement utilisée pendant la campagne

Echantillon n°
Date prélèvement :
Adresse prélèvement :

Personne référente :

Personne présente (si autre que la personne référente) :
Age compost prélevé (estimation) :

Volume total du compost (estimation : hauteur x longueur x largeur) :

Localisation des prélèvements (schéma) :

Bac maturation vu de haut
Hauteur moyenne du compost :
Remettre les dimensions du bac



Protocole (si modifications, expliquer pourquoi dans « problèmes rencontrés ») :

NB : protocole initial

- Effectuer 9 (3) prélèvements élémentaires à l'aide de la tarière en creusant sur toute la hauteur du compost. 1 trou = 3 prélèvements élémentaires si la hauteur est suffisante. Sinon 1 trou = 1 prélèvement élémentaire. 3 trous à effectuer : 1 au centre du compost, 1 en périphérie et 1 intermédiaire
- Mettre chaque prélèvement élémentaire dans le bioseau
- Une fois tous les prélèvements élémentaires effectués, mélange du compost dans le bioseau pour homogénéiser
- Prélever 2L du mélange obtenu dans le sac d'analyse du laboratoire

Observations (aspect du compost, visuel, texture, couleur, présence animaux, éléments grossiers, etc) :

Problèmes rencontrés lors de l'échantillonnage :

Annexe I

Liste des analyses disponibles et conformité à la norme

Tableau I.1 : nombre d'analyses disponibles pour les différents critères de la norme NFU 44-051

*L'astérisque * indique que les analyses ont été effectuées sur le matériau broyé et homogénéisé*

O : analyses effectuées pour le paramètre

ND : analyses non déterminées pour le paramètre

	Analyse des 12 échantillons prélevés	Analyses antérieures (3) réalisées par le laboratoire du Syctom	Analyses antérieures (2) réalisées par le laboratoire d'agronomie	Nombre d'analyses disponibles pour le paramètre
Paramètres chimiques				
Azote total*	O	O	O	17
Phosphore*	O	O	O	17
Potassium*	O	O	O	17
NPK en valeur globale*	O	O	O	17
Azote minéral/Azote total*	ND	O	ND	3
Magnésium*	O	ND	O	14
Sodium*	O	ND	O	14
Paramètres physico-chimiques				
pH	O	ND	O	14
Conductivité	O	ND	O	14
Calcaire total*	O	ND	O	14
Carbone organique*	O	ND	O	14
Rapport C/N*	O	O	O	17
Paramètres physiques				
Matière sèche*	O	O	O	17
Matière organique*	O	O	O	17
Masse volumique (kg/m3)	O	ND	ND	12
Eléments traces métalliques				
Arsenic*	O	O	O	17
Cadmium*	O	O	O	17
Chrome*	O	O	O	17
Mercure*	O	O	O	17
Nickel*	O	O	O	17
Plomb*	O	O	O	17
Sélénium*	O	O	O	17
Cuivre*	O	O	O	17

Zinc*	O	O	O	17
Critères micro-biologiques - Agents pathogènes				
Oeufs d'helminthes viables*	ND	O	ND	3
<i>Salmonella</i> *	ND	O	ND	3
Inertes et impuretés				
Films + Polystyrène expansé >5mm	O	O	ND	15
Autres plastiques >5mm	O	O	ND	15
Verres + métaux >2mm	O	O	ND	15
Composés traces organiques HAP - Valeurs limites (mg/kg MS)				
fluoranthène*	ND	O	ND	3
benzo(b)fluoranthène*	ND	O	ND	3
benzo(a)pyrène*	ND	O	ND	3
Analyse granulométrique	O	ND	O	14
Indicateurs biologiques				
ISMO*	O	ND	ND	12
Potentiel humigène (kg/t produit brut)*	O	ND	ND	12
Respiration basale (mg O ₂ / kg MS /h *	O	ND	ND	12

Annexe J

Questionnaire diffusé aux référents de composteurs de pied d'immeuble

Adresse mail: Nom: Prénom:

Combien de foyers participent actuellement à votre composteur ?

Votre composteur est-il :

- Un lombricomposteur
- Un composteur en bac
- Nous possédons les deux

Etes-vous ?

- Un immeuble (habitat)
- Un établissement scolaire
- Un site public (mairie...)
- Un site institutionnel (association, jardin partagé, pompiers, congrégation religieuse...)

Un excédent de compost est un compost mature dont les participants n'ont pas l'utilité. Avez-vous des excédents de compost ?

Un excédent de compost est un compost mature dont les participants n'ont pas l'utilité. Avez-vous des excédents de compost ?

Cela ne nous est jamais arrivé

Cela nous arrive parfois

Oui, nous avons systématiquement des excédents de compost

Envoi du formulaire

Passage à la section suivante du questionnaire

Que faites-vous des excédents de compost ? (Plusieurs réponses sont acceptées)

- Nous le stockons
- Nous le donnons à des personnes autres que les personnes participant au composteur
- Nous le jetons
- Autre

Vous avez des excédents de compost (Plusieurs réponses sont acceptées) :

- Toute l'année
- L'hiver
- L'été
- Le printemps
- L'automne
- Autre

A combien évaluez-vous les excédents par rapport au compost produit ?

- La totalité est en excédent
- La moitié est en excédent
- Une faible partie

Annexe K Paramètres agronomiques

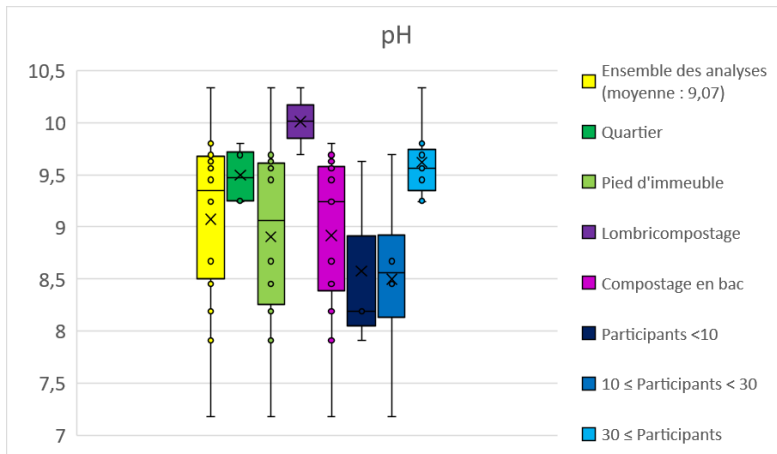


Figure E.1. pH des composts prélevés selon la typologie utilisée

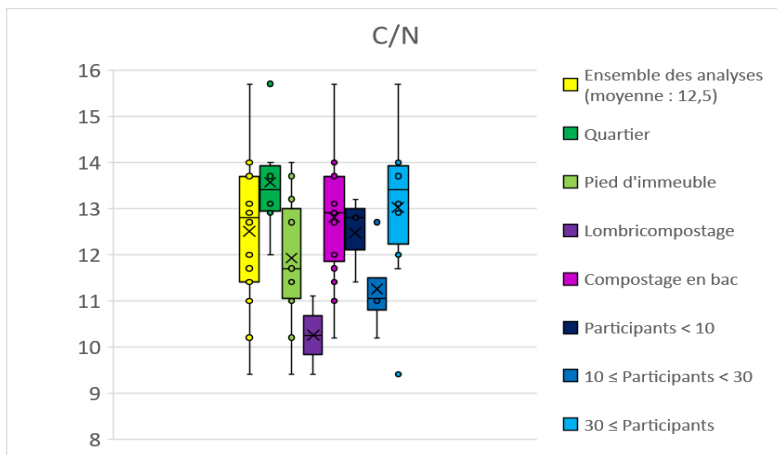


Figure E.2. C/N des composts prélevés selon la typologie utilisée

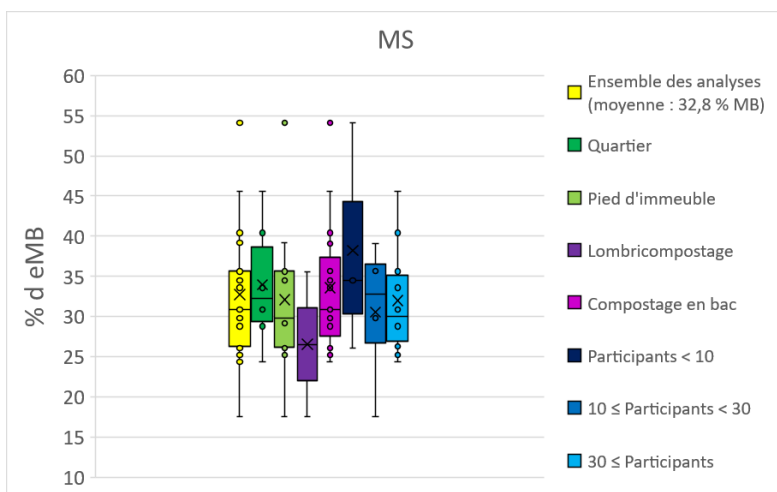


Figure E.3. Teneur en matière sèche des composts prélevés selon la typologie utilisée

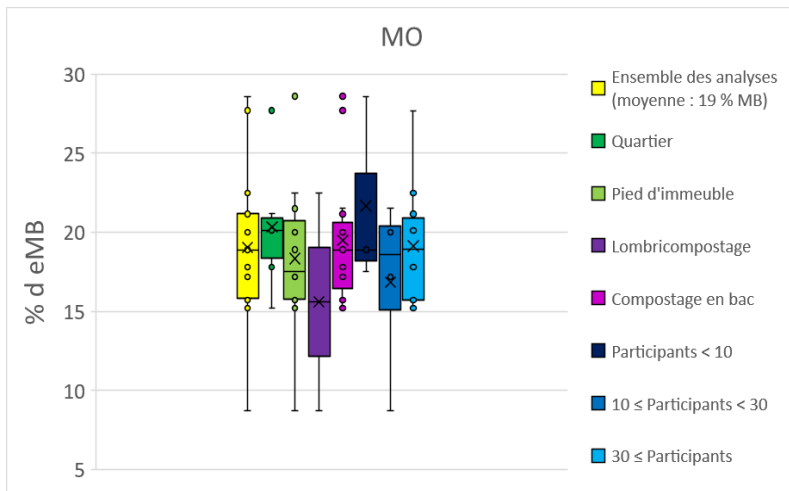


Figure E.4. Teneur en matière organique des composts prélevés selon la typologie utilisée

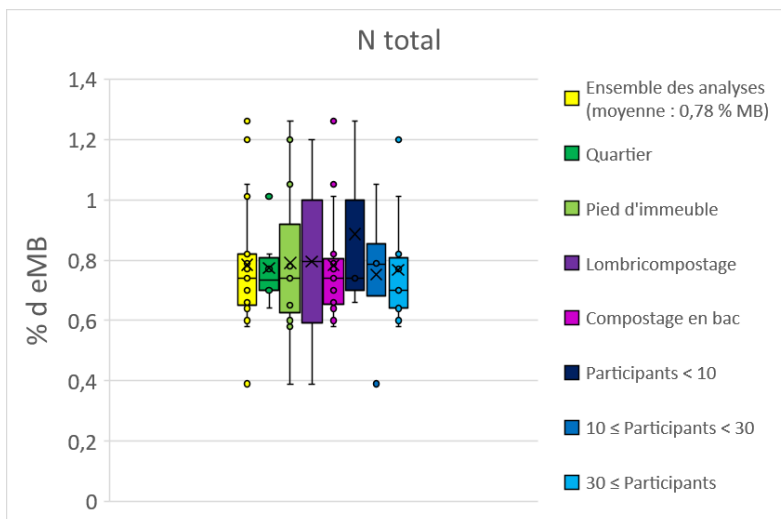


Figure E.5 : Teneur en azote total des composts prélevés selon la typologie utilisée

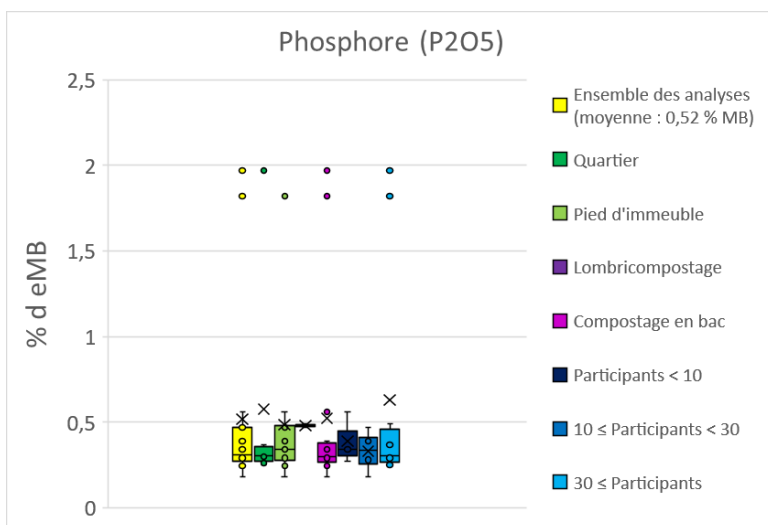


Figure E.6 : Teneur en phosphore total des composts prélevés selon la typologie utilisée

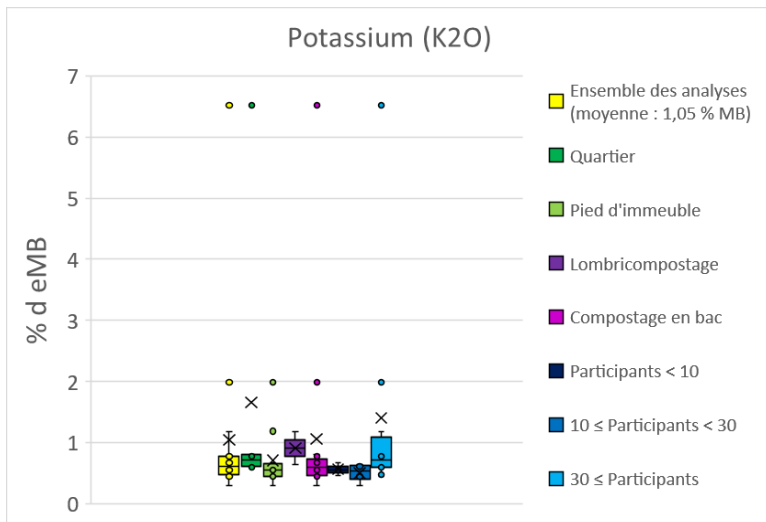


Figure E.7 : Teneur en potassium total des composts prélevés selon la typologie utilisée

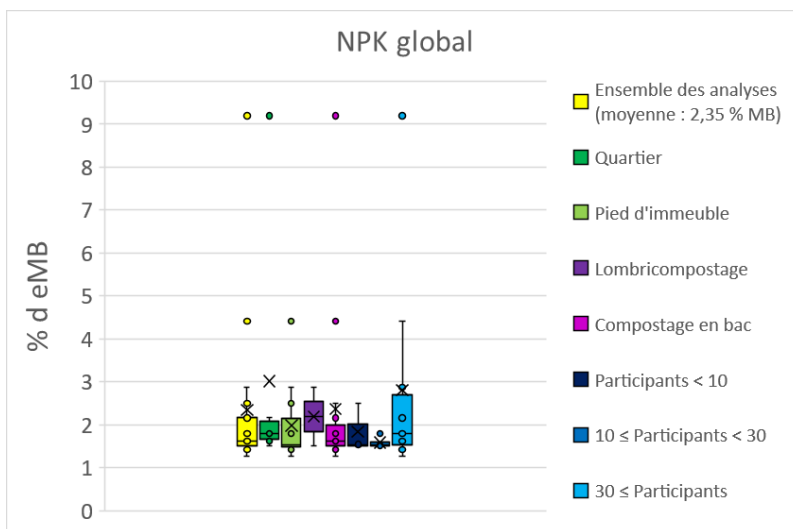


Figure E.8 : Teneur en NPK global des composts prélevés selon la typologie utilisée

Annexe L Gestion de projet

Ce projet ingénieur nous a permis de mobiliser et de développer des compétences en gestion de projet, acquises tout au long de la formation à AgroParisTech. Tout d'abord, une bonne compréhension des objectifs du projet et des motivations qui ont menées à la proposition du sujet par le commanditaire est une étape implicite, mais néanmoins essentielle, de toute gestion de projet. Les premières réunions avec le commanditaire ont été importantes pour clarifier ses attentes et le contexte d'étude. En outre, dès le lancement du projet, nous avons planifié les premières visites de composteurs de quartier, afin de nous rendre compte des enjeux autour de la filière.

D'autre part, nous avons mesuré l'importance d'une bonne gestion du temps pour mener un projet de quatre mois. Réussir à optimiser le temps en réunion pour en faire gagner par la suite est un challenge. Néanmoins, le travail de groupe nécessite de faire des points réguliers pour évaluer l'avancement des tâches. Ainsi, ce projet ingénieur nous a permis de développer cette compétence.

Ce projet ingénieur a été aussi l'occasion de nombreuses prises d'initiatives : mise en place de méthodes pour estimer les quantités de biodéchets évités, élaboration d'un protocole de prélèvement de composts issus de composteurs collectifs, réalisation d'un questionnaire pour évaluer les excédents de composts, contacts d'acteurs en plus de ceux proposés par le commanditaire, etc.

Une des principales difficultés a été de faire voir ce qu'il nous semblait réalisable ou non dans le temps imparti. D'autre part, quelques problèmes de communication sont notables. Nous avons eu des difficultés à clarifier les rôles de chacun. En particulier, des confusions entre certains membres de l'INRA ont eu lieu.

Globalement, notre projet s'est très bien passé, et les difficultés que nous avons rencontrées se sont résolues rapidement, notamment grâce à l'accompagnement et au suivi de notre commanditaire et de notre professeur référent. La disponibilité des différentes personnes rencontrées ainsi que leur intérêt pour le sujet ont été autant d'atouts pour la réussite de ce projet.

Pour finir, le déroulé du travail est résumé dans la figure L.1.

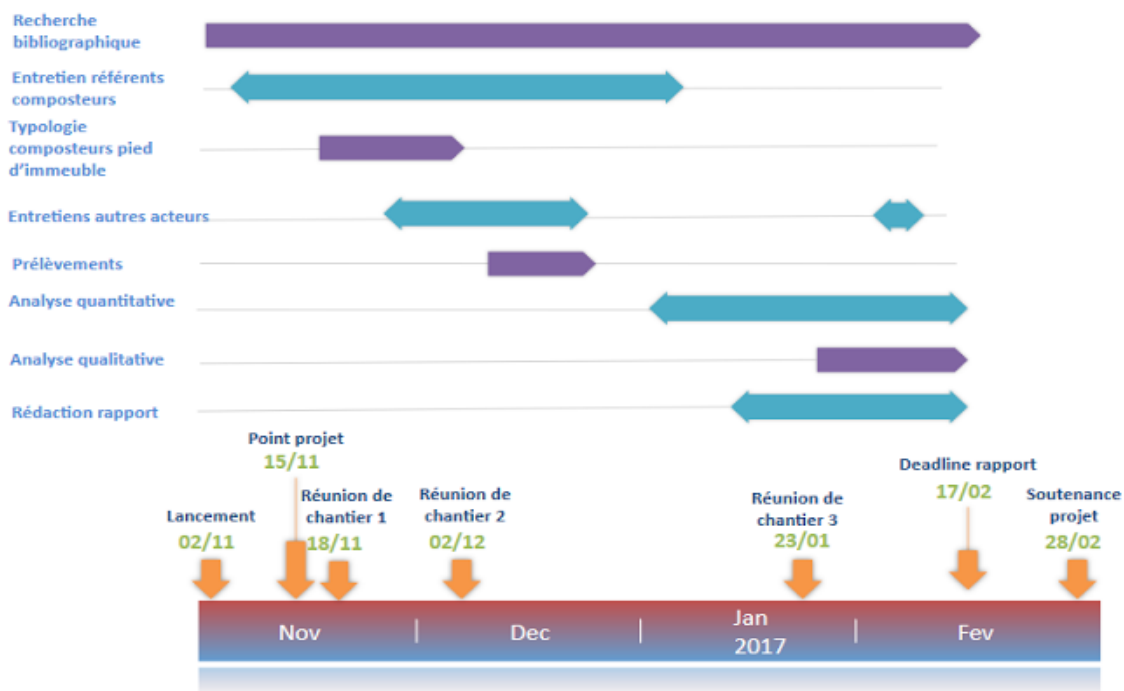


Figure L.1. Déroulé du projet.