



Zone réservée à l'instructeur ADEME

Diffusion	Confidentialité	Stratégique/sensible	Valorisation à prévoir	Date de revue d'obsolescence
<input type="checkbox"/> Interne	<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Oui	MM/AAAA
<input checked="" type="checkbox"/> Externe	Date fin : MM/AAAA	<input checked="" type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Non	
Nom du responsable UG			Validation de la qualification	

Bloc de texte à enlever avant la conversion en pdf, puis à remplacer sur le word

RAPPORT INTERMEDIAIRE DU PROJET VALOR

Valorisation des biodéchets urbains par
vermicompostage en amendements à
destination de l'agriculture

**RAPPORT
INTERMEDIAIRE**

Février
2022



EXPERTISES

REMERCIEMENTS

M. Barla et Mme Novak (Métropole de Lyon)
M. Bienvenue (ville de Givors)
M. Borron (Eisenia / Société terrestres)
Mme Canonier (CA du Rhône)
Mme Menasseri (Agrocampus Ouest Rennes)
Mme Muller (ADEME)
Mme Schwebel (Région AURA)

CITATION DE CE RAPPORT

PEIGNE Joséphine, GRARD Baptiste, ULRICH Pierre, DUCASSE Vincent, BERDIER Chantal, MAILLEFERT Muriel, CAPOWIEZ Yvan. 2022. **Rapport intermédiaire du projet VALOR. 41 pages.**

Si le rapport est en ligne ajouter :

Cet ouvrage est disponible en ligne <https://librairie.ademe.fr/>

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

Ce document est diffusé par l'ADEME

ADEME

20, avenue du Grésillé

BP 90 406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : XXXXXXXXXXXX

Supprimer les mentions ci-dessous si inutiles :

Si marché

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par : XXXX

Coordination technique - ADEME : NOM Prénom ingénieur

Direction/Service : XXXXX

Si convention

Étude réalisée par (noms des auteurs et co-financeurs éventuels) pour ce projet financé ou cofinancé par l'ADEME

(si projet de recherche sans lien avec appel à projet) Projet de recherche coordonné par : XXXX

(si projet de recherche en lien avec appel à projet) Projet de recherche coordonné par : XXXXXXXX

Appel à projet de recherche : XXXX

Coordination technique - ADEME : NOM Prénom ingénieur

Direction/Service : XXXXX

SOMMAIRE

RÉSUMÉ	5
ABSTRACT	6
1. CONTEXTE DU PROJET	7
1.1. La gestion des biodéchets	7
1.1.1. Les enjeux du projet VALOR	7
1.2. Le vermicompostage	7
1.2.1. Les objectifs du projet.....	8
2. METHODOLOGIE	9
2.1. Les questions posées et la démarche retenue	9
2.2. Description détaillée des lots	10
2.2.1. Lot 1 ‘Vie du projet’	10
2.2.2. Lot 2 ‘Caractérisation des filières de vermicompostage collectif sur la métropole de Lyon’	10
2.2.3. Lot 3 ‘Evaluation agroécologique du vermicompost’	11
2.2.4. Lot 4 ‘Evaluation socioéconomique des filières de vermicompostage sur le territoire modèle’	12
2.2.5. Lot 5 ‘Déploiement potentiel de filières de vermicompostage collectif dans d’autres territoires’	13
2.3. Calendrier prévisionnel et livrables	13
3. RESULTATS : DU 19 NOVEMBRE 2020 AU 15 FEVRIER 2022	16
3.1. Lot 1 ‘Vie du projet’	16
3.1.1. Tâche 1.1 La coordination du projet	16
3.1.2. Tâche 1.2 L’animation du projet	16
3.1.3. Tâche 1.3 La valorisation du projet.....	17
3.2. Lot 2 ‘Caractérisation des filières de vermicompostage collectif sur la métropole de Lyon’	18
3.2.1. Tâche 2.1 Description des différentes filières de vermicompostage et analyse des flux de matières sur le territoire modèle	18
3.2.1.1. Caractérisation de la filière vermicompostage	19
3.2.1.2. Caractérisation du processus de vermicompostage collectif	22
3.2.1.2.1. Quantification des apports dans les vermicomposteurs.....	22
3.2.1.2.2. Suivi du processus de vermicompostage et étude de la biodiversité	23
3.2.1.3. Analyse des flux de matières et émissions de GES des filières vermicompostage, compostage et méthanisation sur le Grand Lyon	24
3.2.2. Tâche 2.2 Caractérisation sanitaire, agronomique et technique des vermicomposts issus des différentes catégories de vermicompostage	27
3.2.2.1. Qualités agronomique et sanitaire du vermicompost et compost : données issues de la bibliographie	28
3.2.2.2. Qualités agronomique et sanitaire du vermicompost et compost : données issues d’analyses.....	30
3.3. Lot 3 ‘Evaluation agroécologique du vermicompost’	32
3.3.1. Tâche 3.1 Essai agronomique ‘Le vermicompost comme amendement ou fertilisant en AB’	32
3.3.1.1. Analyse sur le site de Saint Joseph	32
3.3.1.2. Analyse sur le site de Genay	33
3.3.2. Tâche 3.2 Essai agroécologique ‘Evaluation des services écosystémiques des sols recevant du vermicompost’	34
3.4. Lot 4 ‘Evaluation socioéconomique des filières de vermicompostage sur le territoire modèle’	35

3.5. Lot 5 ‘Déploiement potentiel de filière de vermicompostage collectif dans d’autres territoires’	38
4. PERSPECTIVES POUR 2022 ET 2023 : CALENDRIER PREVISIONNEL	38
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	39
INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES	40
SIGLES ET ACRONYMES	41

RÉSUMÉ

Il existe plusieurs voies de traitement des biodéchets produits dans les villes, des moins durables comme l'enfouissement et/ou l'incinération à des solutions permettant leur recyclage, comme le compostage ou la méthanisation. Le vermicompostage peut être une troisième voie de recyclage, du déchet de la ville à l'amendement des champs. C'est un processus contrôlé de décomposition de la matière organique qui a pour caractéristique majeure l'apport de vers de terre pour aider et accélérer le processus de dégradation des déchets. Cette technique se pratique en vermicomposteur et sous forme d'andains dans des plateformes urbaines ou agricoles. Dans ce projet, nous nous intéressons au vermicompostage collectif (de plein sol ou hors sol) ou sur des plateformes, techniques qui permettent de valoriser plus de quantités de biodéchets. Le vermicompostage offrirait des avantages agronomiques (amendements riches et favorables à la croissance des plantes), environnementales (peu de mécanisation, accumulation des polluants dans les vers) et socioéconomiques (création d'emplois, enrôlement des habitants) à l'échelle d'un territoire. Le projet VALOR a pour objectif de caractériser et évaluer la faisabilité de différentes filières de vermicompostage collectif pour valoriser les biodéchets urbains afin de permettre leur retour au sol. Nous cherchons à identifier les bénéfices socioéconomiques, environnementaux et agronomiques du vermicompostage à l'échelle d'un territoire dans une logique d'économie circulaire locale, avec la métropole de Lyon comme territoire modèle puis nous analysons son déploiement à d'autres territoires (Givors). Dans ce rapport, nous présentons les résultats intermédiaires du projet (après 15 mois sur une durée totale de 42 mois). Ces résultats portent principalement sur (1) la définition de la filière vermicompostage, la caractérisation fine des modèles existants et les flux de matière que cela représente, (2) des travaux préliminaires à l'évaluation des GES des filières de traitement de biodéchets (vermicompostage, compostage et méthanisation), (3) la caractérisation de la qualité des vermicomposts issus de bacs collectifs par rapport au compost et digestat, (4) des premiers résultats de l'application de ces trois produits aux champs, et (5) les premières étapes et redéfinitions de l'analyse socioéconomique et du déploiement des filières de vermicompostage.

ABSTRACT

There are several ways to recycle urban bio-waste, from less sustainable ones such as landfill and/or incineration to recycling solutions such as composting or methanisation. Vermicomposting can be a third way of recycling, from urban waste to field amendment. It is a controlled process of decomposition of organic matter, the main characteristic of which is the addition of earthworms to help and accelerate the process of waste degradation. This technique is practised in vermicomposter and in the form of windrows in urban or agricultural platforms. In this project, we are interested in collective vermicomposting or on platforms, techniques that allow more quantities of bio-waste to be recovered. Vermicomposting would offer agronomic (rich amendments favourable to plant growth), environmental (little mechanisation, accumulation of pollutants in the worms) and socio-economic (job creation, enrolment of inhabitants) advantages at a territorial scale. The VALOR project aims to characterise and evaluate the feasibility of different collective vermicomposting systems to recover urban biowaste and return it to the soil. We are looking to identify the socio-economic, environmental and agronomic benefits of vermicomposting on the scale of a territory in a local circular economy logic, with the city of Lyon as a model territory, and then we analyse its deployment to other territories (Givors). In this report, we present the intermediate results of the project (after 15 months out of a total duration of 42 months). These results mainly concern (1) the definition of the vermicomposting process, the detailed characterisation of existing models and the material flows that this represents, (2) preliminary work on the evaluation of GHGs from biowaste treatment processes (vermicomposting, composting and methanisation), (3) characterisation of the quality of vermicompost from collective bins compared to compost and digestate, (4) first results of the application of these three products to the field, and (4) the first steps and redefinitions of the socio-economic analysis and deployment of vermicomposting system

1. Contexte du projet

1.1. La gestion des biodéchets

1.1.1. Les enjeux du projet VALOR

La France a produit en 2016, 323 millions de tonnes (Mt) de déchets (CGDD, 2019). Selon l'ADEME (2018), les déchets ménagers et assimilés (DMA) se montent à 568 kg / hab. (chiffres 2016), dont les ordures ménagères résiduelles (OMR) représentent environ 300 kg / hab./an (Borron, 2020). A l'échelle de la métropole lyonnaise, la quantité de DMA collectés est de 546 Mt (chiffres 2018), dont 316,2 Mt pour les OMR. Le potentiel de biodéchets fermentescibles sur la métropole lyonnaise serait de 150 000t/an dont 130 000t ménagers ;12 700 t produits par les restaurateurs et 5 600 t produits par les marchés (Grand Lyon Métropole, 2018 ; NeoEthos, 2017). Depuis 2012, la loi Grenelle II oblige les producteurs à trier à la source leurs biodéchets (loi n° 2010-788) favorisant ainsi l'émergence de filière de valorisation de ces derniers. Par ailleurs, depuis le 1er janvier 2016, tous les producteurs réalisant plus de 10 tonnes de biodéchets, à savoir la plupart des collectivités, sont soumis à la même règle.

Ce contexte encourage à proposer des méthodes de valorisation durables de ces déchets d'autant plus qu'en 2025 le tri à la source des biodéchets sera généralisé aussi bien pour les entreprises que pour les citoyens. Malgré ces injonctions, la question des biodéchets semble souffrir d'une grande invisibilité dans les politiques publiques locales (Lehec, 2018) et est laissée à une mise en œuvre autonome à l'échelle des collectivités (CGDD, 2019). Dans ce contexte, la métropole de Lyon a développé, une politique de prévention des déchets ménagers et assimilés (PLPDMA 2019-2024), promouvant la gestion de proximité des biodéchets et la réduction de la production de résidus végétaux (via le compostage et broyage). Il se n'agit pas d'un programme de politique publique au sens fort, mais d'un ensemble programmatique d'actions, à finalité largement sociales autour de la fourniture d'équipements de compost ou d'actions avec des acteurs associatifs.

En terme de valorisation, la réutilisation des biodéchets urbains sous différentes formes (compost, boues etc.) est une des solutions envisageables et souhaitables pour améliorer la durabilité de l'agriculture (Lohri et al., 2017 ; Obriot et al., 2016). Cette valorisation pose néanmoins la question des filières et produit utilisés : compostage, méthanisation, système centralisé, décentralisé, local etc. Le vermicompostage, en tant que processus de transformation et les filières qui y sont associés pourrait répondre à ces besoins, y compris aux cahiers des charges des systèmes de culture en agriculture biologique (AB), soit un traitement des biodéchets avant épandage, avec toutefois des interrogations sur la qualité des produits, notamment la potentiel présence de pathogène liée au processus (pas de montée en température). Toutefois, les effets de ces amendements sur la biodiversité du sol, sur les potentiels pathogènes issus des biodéchets, les ETM ou encore la potentielle toxicité des digestats sur certains taxons du sol sont mal connus. Le vermicompostage en France est souvent diffusé à travers le vermicompostage individuel (en bois, plastique...) utilisable en intérieur et de préférence pour un foyer (Chenon and Thevenin, 2009), mais qui peut difficilement être vu comme une solution déployer à grande échelle. Des solutions « semi-collectives », via des modules en plastiques hors-sols existent mais sur des volumes relativement faibles (jusqu'à 1t de biodéchets/ an) (Mairie de Paris, n.d.). Néanmoins, la filière du vermicompostage à la ferme existe également, mais la source d'alimentation est la plupart du temps des fumiers, ou, de manière plus épisodique des résidus de cultures (Munroe, 2007). Concrètement, il n'existe donc en France a priori aucune proposition pour valoriser à moyenne ou grande échelle des biodéchets urbains par vermicompostage.

Ainsi, les enjeux de ce projet sont de

- **de qualifier et quantifier les flux de matières pouvant être traités par vermicompostage, du biodéchet au vermicompost produits à l'échelle de la métropole de Lyon**
- **de qualifier et quantifier les services écosystémiques rendus par les sols agricoles recevant du vermicompost ainsi que les externalités socioéconomiques et environnementales du vermicompostage afin d'appréhender aux mieux les bénéfices de cette technique**
- **pour proposer un cadre d'analyse de la durabilité de cette filière et pouvoir la déployer sur d'autres territoires.**

1.2. Le vermicompostage

Le vermicompostage, tout comme le compostage est un processus contrôlé de décomposition de la matière organique qui a pour caractéristique majeure l'apport de vers de terre en amont du processus de décomposition pour aider et accélérer le processus de stabilisation des déchets (Lim et al., 2016). Les vers de terre utilisés sont des épigés (qui vivent naturellement dans la litière) car ils se reproduisent vite et consomment une grande quantité de matière organique (Blouin et al., 2013) tout en « contrôlant » les populations bactériennes en les ingérant et les déplaçant dans la MO (Dominguez et al., 2009). De ce fait, certaines règles doivent être suivies pour respecter le cycle biologique des vers utilisés et optimiser le processus. Ainsi, les matières premières doivent être rigoureusement sélectionnées (Yadav and Garg, 2011). Par exemple les produits d'origine animale (hors excréments) sont proscrits (sauf si prétraitement par compostage par exemple) et il est nécessaire d'apporter autant de matières d'origine carbonée telles que les déchets d'espaces verts ou les cartons (fort enjeu car la ressource en broyat est limité en ville) pour que les vers puissent ingérer les biodéchets azotés (épiluchures ou restes de fruits et légumes, gazon...). Enfin, le mélange de ces déchets doit suivre des conditions particulières veillant à respecter une température mésophile (pas de

chauffé qui pourrait tuer les vers), des valeurs de pH entre 5 et 8 et des conditions d'humidité autour de 50% à 80% selon les espèces de vers utilisées (Dominguez, 2009).

Le vermicompostage est à l'origine une technique agricole (valorisation de fumiers) dont il existe une multitude de variantes (Edwards et al., 2010) mais dont la plus simple fonctionne en 2 phases (Munroe, 2007) : (1) Apport des vers et de la MO : installation d'une litière de vers (vers dans un substrat issu de la vermiculture) adaptée à la quantité de déchets suivi d'un apport des déchets en andains de 1 mètre de haut maximum (les vers sont sensibles au tassement). Il est possible de d'apporter de la MO de manière discontinue (apport en une ou plusieurs fois) ou continue (apport régulier sur le haut de l'andain). L'apport discontinu nécessite un plus grand travail mais permet un meilleur contrôle sur l'environnement des vers et facilite l'intervention sur des facteurs comme l'alimentation, le pH ou encore l'humidité. Ce type d'apport possède un haut rendement avec un taux plus élevé de reproduction des vers ce qui permet une application en gestion collective par quartier urbain. (2) Migration des vers et récolte du vermicompost : quelle que soit la technique d'alimentation, au bout de 4 à 6 mois, lorsque la MO est quasiment dégradée, un nouvel andain est réalisé parallèlement à l'andain de démarrage afin de mettre en place la phase de migration. Durant celle-ci, les vers en pénurie de nourriture dans le premier andain (affamement) vont se déplacer vers la nouvelle litière fraîche et ainsi laisser le premier andain vermicomposté qu'il sera possible de récolter par la suite. Cette étape est essentielle afin de conserver un maximum de vers pour poursuivre le processus et permettre une expansion graduelle du volume de matière traité.

La multiplicité de sources de biodéchets, de processus (combinant les 2 points clés cités précédemment) et d'utilisations, conduit à une méconnaissance de cette technique. Ainsi, la caractérisation des filières de vermicompostage et les processus associés à l'échelle d'un territoire sont un enjeu fort à traiter.

1.2.1. Les objectifs du projet

Le projet VALOR a pour objectif de mieux caractériser et évaluer la faisabilité de différentes filières de vermicompostage pour valoriser les biodéchets urbains. A travers le mot filière nous faisons référence à la chaîne qui va de la collecte des biodéchets (particuliers en pieds d'immeubles et/ou auprès de professionnels), au processus de vermicompostage utilisés (plateformes urbaine ou agricole) jusqu'à l'utilisation finale de ces vermicomposts en contexte agricole. L'équipe projet cherche à identifier les bénéfices socioéconomiques, environnementaux et agronomiques du vermicompostage à l'échelle d'un territoire. La métropole de Lyon est prise comme territoire modèle, car des filières structurées existent, puis cette analyse est étendue à d'autres territoires. Ce travail n'a encore jamais été réalisé sur une filière territorialisée, le plus souvent il existe des connaissances éparses sur le vermicompostage, et celles-ci sont rarement replacées et analysées dans le contexte d'une filière structurée et territorialisée.

Ce projet cherche ainsi à caractériser, analyser et évaluer :

- **les différentes filières de vermicompostage envisageable dans un territoire,**
- **les flux potentiels de matière que cela peut représenter sur différents territoires (de la ville à la campagne),**
- **la qualité des vermicomposts issus de ces filières,**
- **les externalités positives ou négatives engendrées par ces filières dans un territoire,**
- **les services écosystémiques (stockage de carbone, maintien de la structure des sols, biodiversité, production de biomasse) rendus par ces vermicomposts, et**
- **Impact sociale de ces filières pour les différents acteurs (du citoyen à l'agriculteur).**

2. Méthodologie

2.1. Les questions posées et la démarche retenue

Le programme scientifique fait appel à une approche pluridisciplinaire (sciences agronomiques, sociales, économiques et écologiques et du territoire). Une revue bibliographique (Cf annexe technique) a permis d'identifier plusieurs enjeux et objectifs importants pour le projet présenté dans la section précédente. Chaque enjeu, formulé sous forme d'un questionnement, fait l'objet d'un lot dans le projet. L'articulation des lots en lien avec la chaîne de valeur des biodéchets explorés par VALOR sont illustrés dans la figure 1.

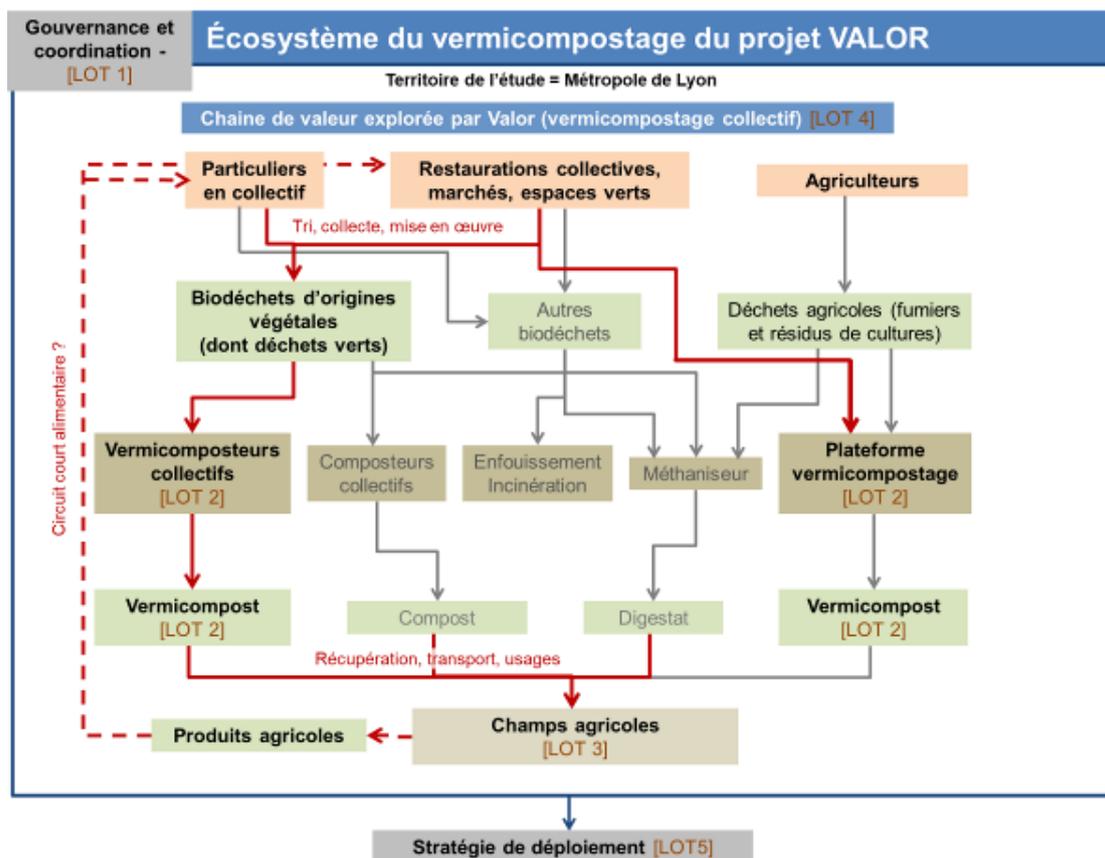


Figure 1 : Présentation graphique des filières étudiées, des lots et de l'ensemble de l'écosystème pour un territoire donné

Légende : Flèches rouges : filières étudiées ; Flèches grises : filières non étudiées ; Carrés verts : produits, ressources ; Carrés marrons : procédés ; Carrés roses : points départ acteurs

Tout d'abord, il apparaît que le processus de vermicompostage est mal connu et que les produits issus de ces techniques mal caractérisés. Le lot 2 'Caractérisation des filières de vermicompostage collectif sur la métropole de Lyon' répond ainsi aux questions : Quels types de filières sont développées aujourd'hui (Tâche 2.1), quelles quantités (et flux) de matières sont mobilisées et pour quelles qualités de produits issus des différentes filières (Tâche 2.2) dans la métropole de Lyon ? Cette analyse détaillée des filières de vermicompostage s'appuie notamment sur les travaux de l'association Eisenia, mobilise l'ISARA mais aussi EVS pour l'analyse des flux de matières couplés à des éléments socio-économiques.

La caractérisation des produits est essentielle pour sécuriser et mieux comprendre leur utilisation en agriculture, et plus particulièrement en agriculture biologique. Toutefois cela ne présume pas de leur devenir une fois épandu au champ. Ainsi, le lot 3 'Évaluation agroécologique du vermicompost' répond à la question : Quel est l'impact du vermicompost sur différents services écosystémiques rendus par les sols, et plus particulièrement sur la préservation de la fertilité du sol, la rétention en eau, la conservation de la biodiversité et la production de biomasse agricole ? Ce lot s'appuie sur des expérimentations chez des agriculteurs en AB (péri urbains), où différents compost, digestat et vermicompost ont été épandus avec des objectifs agronomiques (tâche 3.1) ou de préservation de services écosystémiques (tâche 3.2). Une partie de ce lot est déjà financée dans le cadre d'une thèse. Ce lot mobilise principalement des sciences biotechniques (ISARA, INRAE, EISENIA).

En parallèle des analyses agroécologiques des vermicomposts, le lot 4 a pour objectif de conduire une analyse socioéconomique des bénéfices (ou désavantages) du vermicompostage, en répondant aux questions : Comment s'organisent les différentes filières de vermicompostage (ressources acteurs flux) (tâche 4.1) Quelles sont les coûts et bénéfices économiques de ces filières

(tâche 4.2), Quelles sont les externalités et comment les identifier dans le cadre d'un projet de développement territorial durable (tâche 4.3)? Ce lot mobilise les sciences socio-économiques (EVS), via des analyses qualitatives et quantitatives issues d'une collecte de données et d'informations via la réalisation d'entretiens auprès des acteurs de la filière. Outre l'équipe EVS, la recherche s'appuie sur EISENIA, l'ensemble des collègues du projet et mobilise les utilisateurs finaux.

Les trois lots brièvement décrits s'inscrivent dans les travaux menés sur la métropole de Lyon, et sa zone agricole périphérique. En effet ce territoire présente plusieurs avantages : il existe déjà des filières de vermicompostage collectif, les acteurs des filières sont identifiables, des expérimentations ont déjà été initiées chez des agriculteurs AB en périphérie de la métropole. Toutefois, il apparaît nécessaire d'étudier le déploiement d'une telle technique dans d'autres territoires ainsi que le modèle de développement territorial que celui-ci implique (circularité des matières entre la ville et la campagne, préservation de l'environnement, bénéfices agronomiques, création de richesse...). Ainsi le lot 5 répond-il à la question : Comment déployer ces filières à d'autres territoires, avec leurs propres enjeux et spécificités ? Pour traiter cette question, nous allons d'une part bâtir des scénarios potentiels de déploiement des filières (tâche 5.1), en nous appuyant sur des études de l'association Eisenia, pour analyser l'implantation potentielle de ces filières de vermicompostage dans d'autres territoires. La tâche 5.2 identifie les freins et leviers de développement et la tâche 5.3 s'intéresse au déploiement des expérimentations, en mettant en évidence les principes généraux d'une analyse de la filière transférable à d'autres territoires. Ce lot va mobiliser l'ensemble des partenaires et des champs disciplinaires pour bâtir des principes pour des scénarios tenant compte de l'ensemble des enjeux précédemment cités.

Enfin, le lot 1 'Vie du projet' est transversal à l'ensemble du projet et implique tous les partenaires. La tâche 1.1 a pour objectif de coordonner, et plus particulièrement assurer les liens avec l'ADEME via la participation aux réunions GRAINE, à la réalisation et au rendu des rapports d'avancement annuel, technique et financier, le plan de gestion des données (PGD), et le rapport final. Les jalons décisionnels sont suivis dans cette tâche (5 jalons décrits dans le planning). La tâche 1.2 a pour objectif l'animation du projet, sur la base de réunions mensuelles afin que les travaux des différents lots, fortement dépendants les uns des autres, soient réalisés de façon coordonnée. La valorisation, dont la transmission des livrables multimédias du projet à l'ADEME, sera assurée en tâche 1.3.

2.2. Description détaillée des lots.

2.2.1. Lot 1 'Vie du projet'

L'objectif du lot 1 est la bonne gouvernance du projet pour assurer la coordination des partenaires entre eux et permettre le rendu des livrables en temps et en heure (livrables administratifs, techniques, scientifiques et de communication).

- Tâche 1.1 : La coordination du projet est assurée par l'ISARA, et comme pour l'ensemble du lot tous les partenaires sont impliqués. Pour la coordination administrative et financière, une personne du service administratif de l'ISARA est dédiée au projet. L'ISARA a une comptabilité analytique et une démarche qualité de gestion de projet permettant un suivi précis des actions, temps, coûts et rendus du projet (rapport annuel, rapport final, compte rendu financier). Elle assure le lien entre l'ADEME et les équipes du projet. Des comités de suivi et de pilotage du projet sont constitués avec tous les partenaires et des extérieurs (acteurs de la région, métropole de Lyon, scientifiques) afin de garantir l'intégrité technique et scientifique du projet.

- Tâche 1.2 : Comme illustré sur la figure 1, les actions entreprises dans les différents lots sont interconnectées. Les filières et composts caractérisés dans le lot 2 vont être mobilisés dans les lots 3 et 4 (évaluation de la durabilité du vermicompostage). De même, les méthodes et résultats acquis dans ces lots vont servir à construire les grilles d'analyses et scénarios utilisés dans le lot 5 (développement de filières dans d'autres territoires). Afin d'assurer la fluidité entre lots, nous mettons en œuvre une animation dynamique du projet basée sur : (1) des réunions mensuelles de suivi du projet, (2) un cloud sécurisé sur le serveur de l'ISARA pour centraliser les documents relatifs au projet (base de données, protocoles, CR de réunion, résultats d'entretien) au fur et à mesure de leur réalisation, (3) des temps sur le terrain (plateforme de compostage, champs expérimentaux, visite des territoires) pour tous les partenaires afin de comprendre les actions des uns des autres.

- Tâche 1.3 : Chaque partenaire et/ou chaque lot produit des résultats sous différentes formes à destination de différents publics, par exemple des rapports à destination de l'ADEME, des participations et présentation des résultats dans des instances publiques ou privés, des visites de terrain avec des extérieurs. L'ISARA est en charge de veiller à la réalisation des tous les livrables mais aussi à leur diffusion sur les différents vecteurs. La coordinatrice compile l'ensemble des livrables et assure leur diffusion en lien avec les partenaires. Un travail de diffusion auprès des étudiants est aussi mis en œuvre par l'ISARA et l'université Lyon 3 : (1) en proposant des sujets d'étude/stage sur le projet, et (2) en communiquant les résultats aux étudiants sous forme de parcours pédagogique (niveau master 1 et 2).

2.2.2. Lot 2 'Caractérisation des filières de vermicompostage collectif sur la métropole de Lyon'

L'objectif de ce lot est de définir différentes filières de valorisation de biodéchets par vermicompostage qui sont précisément caractérisées (quantitativement et qualitativement) sur la métropole de Lyon (incluant les difficultés rencontrées) et les exutoires de vermicompost issus de ces filières (agriculture urbaine, périurbaines, jardins partagés etc...).

- Tâche 2.1 : Description des différentes filières de vermicompostage et analyse des flux de matières sur le territoire modèle (EISENIA et EVS).

Dans cette tâche, nous caractérisons la filière vermicompostage par rapport aux autres filières de traitement biologique des déchets (compostage, méthanisation). L'objet de cette tâche est ainsi de caractériser ces différentes filières à travers la collecte des données relatives au biodéchets (données quantitatives et qualitatives) via des travaux de bibliographie et d'enquêtes, et donne lieu à une analyse comparée des bilans de Gaz à Effet de serre (GES).

Cette tâche a également pour objectif de caractériser les différents modèles existants dans la filière de vermicompostage via des enquêtes auprès des usagers et un suivi de terrain (des vermicomposteurs en place). En effet, depuis 2014, l'association EISENIA fait des essais de vermicompostage sur le territoire de la Métropole de Lyon. A travers une centaine de vermicomposteurs installés, valorisant pour chacun entre 0,4 et 8 Tonnes de biodéchets par an, et 2 plateformes agricoles ou urbaines, elle a pu tester un certain nombre de configurations, souvent de manière empirique, en lien avec des collectifs d'habitants, des copropriétés, des structures d'accueil ou scolaires, des associations ou des entreprises, des bailleurs et des communes. EISENIA va ainsi rédiger un guide technique accessible aux potentiels acteurs de la filière pour démarrer et gérer correctement un site de vermicompostage collectif ou en plateforme

- Tâche 2.2 : Caractérisations sanitaire, agronomique et technique des vermicomposts issus des différentes filières (EISENIA et ISARA).

Cette tâche a pour objectif de mesurer les propriétés physico-chimiques du vermicompost issu des biodéchets d'ordures ménagères afin de savoir s'ils peuvent être utilisés en tant qu'amendement organique conformément à la norme NFU 44-051 (qualité des amendements organiques) et de produire des documents de référence sur le vermicompostage.

Le vermicompostage des biodéchets étant peu étudié, plusieurs vermicomposts issus des filières étudiées en tâche 1 sont analysés afin d'évaluer la potentielle variabilité du produit :

- Vermicompost issu de vermicomposteurs collectifs en processus lent/extensif (biodéchets des particuliers + cartons)
- Vermicompost issu de vermicomposteurs collectifs en processus rapide/intensif (biodéchets des particuliers + cartons)
- Vermicompost d'une plateforme agricole (en andain) issu de biodéchets collectés auprès de restaurateurs et de broyat de bois
- Vermicompost d'une plateforme agricole (en andain) issu de biodéchets collectés auprès de restaurateurs et de fumier de bovin

Pour chacune de ces catégories une analyse complète du produit est réalisée conformément aux analyses de la norme NFU 44-051 : valeur agronomique, éléments traces métalliques (ETM), composés inertes (plastiques etc.), 7 PCB (Polychlorobiphényles) et 3HAP (Hydrocarbure Aromatique Polycyclique) et pathogènes (Œufs d'Helminthes, Salmonella et Escherichia coli). Afin d'approfondir ces analyses et caractériser plus précisément la qualité de la matière organique des analyses ISMO (Indice de la Stabilité de la Matière Organique) et de granulométrie sont réalisés. Vu que le processus de vermicompostage ne comprend pas de montée en température, un accent particulier est donné sur la qualité sanitaire des vermicomposts issus de vermicomposteur collectifs. Pour cela des vermicomposts de 8 autres vermicomposteurs collectifs ont été prélevés pour réaliser des analyses sur les pathogènes, PCB, HAP et éléments traces métalliques. Des analyses de valeurs agronomiques ont également été réalisées sur ces produits. Enfin des suivis de la faune des vermicomposteurs ont été réalisés à l'aide de piège Barber (macro et mésofaune).

Parallèlement des analyses agronomiques de vermicomposts issus d'un mélange de plusieurs vermicomposteurs collectifs ont été réalisées. Ces produits correspondent à ceux utilisés pour les épandages sur les sites expérimentaux du Lot 3. En plus des analyses de la norme NFU 44-051 et de l'analyse ISMO, nous avons caractérisé la matière organique d'un vermicompost avec une observation au microscope électronique à transmission et un suivi de la dynamique du carbone via la technique Rock-Eval®.

L'ensemble de ces analyses vont bien au-delà de la norme actuelle car l'objectif est de caractériser précisément les vermicomposts en fonction de la technique de vermicompostage utilisé (collectif, plateforme). Ce travail donne lieu à la rédaction d'un référentiel de qualité de vermicomposts à destination des utilisateurs finaux et permet de créer des connaissances fondamentales sur le potentiel agronomique des vermicomposts issus des biodéchets urbains.

2.2.3. Lot 3 'Evaluation agroécologique du vermicompost'

L'objectif du lot 3 est de comparer l'impact du vermicompost (issu de collecte de particuliers), en comparaison avec des composts et digestats (issus de méthaniseurs sans séparateur de phases) issus de biodéchets urbains, en évaluant différents services écosystémiques rendus par les sols. Pour cela nous réalisons un suivi d'essais agronomique (tâche 1) et édaphique (tâche 2). Les sites sélectionnés sont des parcelles péri-urbaines à Saint Joseph (42800) sur un sol sableux et à Genay (01390) sur un sol argilo-limoneux, les agriculteurs sont en AB et fortement intéressés pour recevoir des matières organiques.

- Tâche 3.1 : Essai agronomique 'Le vermicompost comme amendement ou fertilisant en AB' (ISARA, EISENIA, INRAE).

Deux essais au champ en AB de 3 ans au moins sont menés pour tester l'apport des différents amendements et/ou fertilisants tout au long du projet et mesurer leur impact sur la fertilité du sol (effet amendement), mais aussi la production de biomasse

agricole (rendement, régulation adventices). Sur le site de St Joseph (démarrage janvier 2020), les apports de compost et vermicompost (+ un témoin sans apport) ont été effectués sur une base de 15t produit/ha pour 3 ans (Figure 2 gauche). Sur le site de Genay, l'apport est effectué chaque année (mimant deux doses de fertilisant de 60 et 120 kg de N/ha pour l'orge en 2020 et 80 et 160 kg de N/ha pour le blé en 2021) (Figure 2 droite).

Les parcelles élémentaires des deux sites sont répétées et disposées en bloc aléatoire, divisées en plusieurs modalités : vermicompost, compost et témoin (sans apport). Sur ces parcelles nous suivons : (1) la production de biomasse agricole via un suivi classique des composantes du rendement des cultures en place, (2) le service de régulation des adventices, via des couverts végétaux, (3) la fertilité du sol, à travers ses composantes chimiques (azote dont biodisponibilité dans la plante et dans le sol, physico-chimique classique), biologiques (activités enzymatiques, collemboles, mésofaune au groupe et vers de terre) et physique (test bêche et densité).

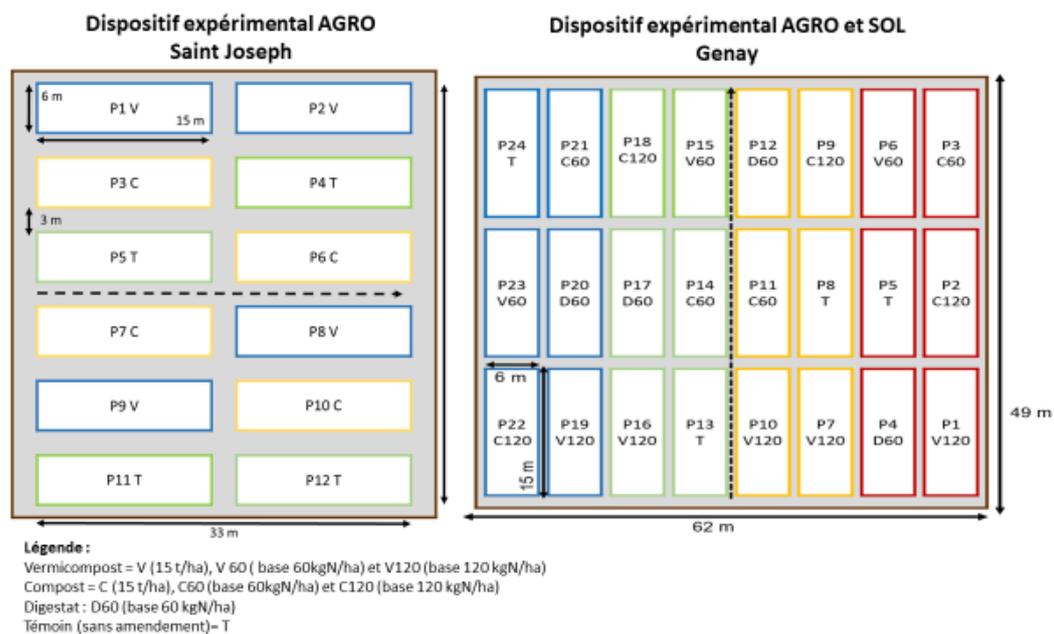


Figure 2 : Les essais misent en place dans le Lot 3

Tâche 3.2 : Essai agroécologiques ' Evaluation des services écosystémiques des sols recevant du vermicompost' (ISARA, EISENIA, INRA).

Cette tâche est effectuée uniquement sur le sol argilo-limoneux de la parcelle de Genay car le sol présente des enjeux écologiques (battant, faible teneur en MO). Cet essai est fondu avec l'essai agronomique, en ajoutant une modalité Digestat de méthaniseur sur une base de 60kg N/ha en 2020 et 80kg N/ha en 2021 (D60). Les suivis seront réalisés (T0, T6 mois et T1 ans) sur un an. Ici, nous cherchons à évaluer différents services rendus par les sols :

- Services de régulations : analyses agronomiques annuels comprenant les éléments traces métalliques, un suivi l'azote minéral dans le sol (0-30, 30-60 et 60-90cm) trimestrielle (entrée hiver, sortie hiver, floraison et récolte)
- Conservation de la biodiversité du sol avec un suivi semestrielle (printemps et automne) des populations de vers de terre et des collemboles à l'espèce, un suivi de la population de la mésofaune et un suivi de l'activité enzymatique des sols (Déshydrogénase, Glucosidase, Phosphatase et Uréase) tous les 1 ans et demi (T0 en octobre 2020, T1 en mars 2022 et T2 en octobre 2023).
- Maintien de la structure du sol avec des mesures de densités tous les 6 mois sur l'horizon de surface (0-10 et 10-20cm) et des observations par tomographie à 1 an et demi (mars 2022)
- Rétention en eau des sols par des mesures de rétention en eau à l'aide de table à succion 1 an et demi (mars 2022)

2.2.4. Lot 4 'Evaluation socioéconomique des filières de vermicompostage sur le territoire modèle'

Le lot 4 a pour objectif de conduire une analyse socioéconomique de la filière et des bénéfiques (positifs ou négatifs) du vermicompostage collectif. Après avoir étudié l'organisation des différentes filières de vermicompostage collectif (ressources acteurs) (tâche 4.1), il s'agit d'identifier les paramètres économiques de ce fonctionnement (tâche 4.2), puis de repérer les externalités positives ou négatives (en lien éventuel avec les services écosystémiques du lot 3) (tâche 4.3). Ce lot est conduit par l'équipe EVS Lyon 3 via des analyses et des entretiens auprès des acteurs de la filière. Ce lot s'appuie fortement à la caractérisation des filières de traitement des biodéchets effectuée dans le lot 2 (tâche 2.1). De même, les travaux se font en

collaboration avec l'association EISENIA (réseau, acteurs, terrains...), et les collègues en science agronomique (lien avec les utilisateurs finaux).

- Tâche 4.1 Analyse territoriale des filières de vermicompostage collectif (EVS, EISENIA).

L'objectif de cette tâche est de réaliser une analyse qualitative de la filière reposant sur une revue de littérature sur les thématiques des acteurs, flux, coordinations, dans le domaine des biodéchets et du vermicompostage. Elle suppose de comparer le mode d'organisation de différentes filières (ex marché ou compostage de proximité en habitat collectif) à partir d'une analyse des acteurs et des coordinations. Cette analyse conduit à repérer des modèles de vermicompostage pouvant être déployés sur un territoire, afin de comprendre les déterminants socio-économiques de ces modèles. Parallèlement, autant que faire se peut (données collectables), une analyse du métabolisme de chaque mode d'organisation sera proposée.

- Tâche 4.2 Détermination des enjeux socio-économiques des filières de vermicompostage collectif (EVS, EISENIA).

Ensuite, une analyse économique des coûts potentiels et des bénéfices économiques sociaux et environnementaux réalisée sur ces filières. Une comparaison avec d'autres filières, et plus particulièrement le compostage collectif, est prévue.

- Tâche 4.3 Identification des externalités territoriales (EVS, EISENIA, ISARA).

Après avoir réalisé une revue de littérature sur les externalités et services écosystémiques en lien avec le Lot 3, un repérage des externalités sera établi. Un cadre d'analyse sera réalisé pour identifier, qualifier et dans la mesure du possible quantifier ces externalités. Elles seront ensuite intégrées dans le schéma territorial.

Il s'agit ainsi de comparer les enjeux économiques (analyse des filières et des coûts) avec les enjeux quantitatifs (analyse du métabolisme). Les terrains identifiés sont la commune de Givors et la micro-ferme des Etats-Unis à Lyon 8. Une stagiaire de M2 VEU a été recrutée pour assurer les enquêtes de terrain.

2.2.5. Lot 5 'Déploiement potentiel de filières de vermicompostage collectif dans d'autres territoires'

L'objectif du lot 5 est d'analyser les conditions de déploiement d'une filière de vermicompostage dans d'autres territoires. Les études de l'association EISENIA servent d'appui pour analyser l'implantation potentielle des modèles de vermicompostage collectif dans deux autres territoires : la ville de Givors, et potentiellement une autre ville. Dans un premier temps (Tâche 5.1), des scénarios de déploiement sont formalisés et envoyés à des villes intéressées par mettre en place cette filière, puis après leurs mises en place, les freins et leviers de déploiement sur les villes intéressées sont identifiés en tâche 5.2. La tâche 5.3 sert à dégager des principes génériques de ces expérimentations. Un guide méthodologique identifiant les leviers et freins d'une mise en œuvre est ainsi rédigé, pour esquisser les principes généraux d'une analyse de la filière généralisable à d'autres territoires (suivant état d'avancement des expérimentations).

- Tâche 5.1 Identification des modèles potentiels de déploiement. Après avoir réalisé une revue de littérature sur les modèles de déploiement potentiels et sur les premiers résultats obtenus dans les lots 2 et 4, nous proposons des scénarios ou modèles de déploiement du vermicompostage pour des villes souhaitant mettre en œuvre cette technique dans la cadre d'expérimentation. Ces scénarios sont associés à des grilles d'analyses (indicateurs) permettant d'évaluer les bénéfices ou limites de cette filière au regard d'autres filières de traitement des biodéchets (principalement le compostage).

- Tâche 5.2 Analyse des freins et leviers du déploiement. La grille sera opérationnalisée sur les deux territoires d'expérimentation pour repérer les freins et leviers du déploiement d'une filière de vermicompostage sur un territoire (entretiens complémentaires).

- Tâche 5.3 Déploiement des filières. Des critères génériques de déploiement (sur les acteurs, conditions techniques, bénéfices socio-économiques, environnementaux, les risques etc.) sont recherchés en confrontant les grilles d'analyse des expérimentations ainsi que les résultats obtenus sur la métropole de Lyon. Un guide méthodologique pour le déploiement de filières (avec l'ensemble des partenaires) est ainsi proposé.

2.3. Calendrier prévisionnel et livrables

Le calendrier prévisionnel est illustré en tableau 1. Le projet a démarré en novembre 2020, nous sommes actuellement au mois 15 du projet (19 février 2022). Les lots 1, 2 et 3 sont bien avancés car principalement concentré sur les deux premières années du projet. Le lot 4 et 5 sont en discussion, des travaux préliminaires ont été mis en œuvre, pour une phase d'analyse en 2022.

Mois	Lot 1			Lot 2		Lot 3		Lot 4			Lot 5		
	Coordonner	Animer	Valoriser	Filières	Vermicomposts	AGRO	SOL	Acteurs	Economie	Externalités territoriales	Modèles de déploiement	Freins et leviers	Reproductibilité
1	CoS	R, L1.2.1		B		Suiv	Suiv	B					
2	CoP	R, V, L1.2.2											
3	L1.1.1	R	L1.3.1	doc, enq	B			doc					
4		R				Suiv			B				
5		R		redac	doc		Suiv						
6	RTel	R, V		L2.1.1					Enq, J5	B	J6		
7		R			CaB								
8		R				Suiv		Enq	redac				
9	CoS	R, V								mod			
10	CoS (Rtel)	R, L1.2.3		redac	CaV	Suiv		acteurs, J5			B		
11													
12		R									AP	AP	
13		R		synth, J2	synth, J3	Suiv, An	Suiv, An, J4						
14	CoP	R, L1.2.4	L1.3.2								mod	mod	mod
15	L1.1.2	R			L2.2.1					Enq, J5			
16		R	J1	L2.1.2		Suiv		flux					
17	RTel	R	L1.3.3, L1.3.4	L2.1.3			L3.2.1				L5.1.1		
18	SeAd	R										Enq	Enq
19		R	L1.3.5										Enq
20		R				Suiv		synth	synth	synth			
21	CoS	R										L5.2.1	
22	CoS (Rtel)	R, L1.2.5						L4.1.1	L4.2.1	L4.3.1	redac	redac	AP
23													
24		R				Suiv, An							
25		R						JE	JE	JE			
26	CoP	R, L1.2.6	L1.3.6							L4.3.2			redac
27	L1.1.3	R											
28		R											L5.3.1
29		R											
30	Rtel	R									synth	synth	synth
31		R											
32	CoS	R	L1.3.7										
33	CoS	R, L1.2.7	L1.3.8				L3.1.1						
34		R											
35													
36											JE	JE	JE
37													
38	CoS, SeAd	R	L1.3.9										
39													
40	L1.1.4	R											
41													
42													

Légende : CoS: Comité de suivi ; CoP: Comité de pilotage ; R : Réunion d'équipe ; SeAd: Séminaire final Rtel: réunion téléphonique avancé ; V: visite de sites équipe ; Enq: terrain, entretien ; CaB: caractérisation biodéchets ; CaV: caractérisation des vermicomposts ; Suiv: suivi des essais ; An: Analyses de données ; B: Bibliographie ; doc: Documentation ; redac: rédaction ; synth: synthèse ; JE: journée d'étude, AP: atelier participatif ; mod: modèle de déploiement

Tableau 1 : Calendrier prévisionnel du projet VALOR

Numéro	Livrable
L1.1.1	Plan de gestion des données (PGD)
L1.1.2, L1.1.3	Comptes Rendus Annuel 1 et 2
L1.1.4	Compte rendu final
L1.2.1 à L1.2.7	7 Comptes rendus des comités de suivi et de pilotage
L1.3.1	Page internet du projet
L1.3.2	Visite plateforme et présentation des premiers résultats
L1.3.3	Visite d'essais AGRO et SOL à destination principale des agriculteurs
L1.3.4	Brochures issues du référentiel sur les vermicomposts
L1.3.5	Brochures issues des guides techniques
L1.3.6	Visite d'essais AGRO (année 3) à destination principale des agriculteurs, et autres acteurs intéressés
L1.3.7	Conférence grand public sur les résultats du projet + brochure illustrée
L1.3.8	Webinaire scientifique
L1.3.9	Séminaire final des restitutions du projet
L2.1.1	Cartographie des flux de biodéchets sur la métropole de Lyon et solution de vermicompostage associé
L2.1.2	Guide technique du vermicompostage collectif
L2.1.3	Guide technique du vermicompostage agricole
L2.2.1	Référentiel de qualité de différents vermicomposts

L3.1.1	Rédaction article et référentiel sur l'effet du vermicompost sur la fertilité du sol et la production agricole
L3.1.2	Premier référentiel sur l'effet du vermicompostage sur les cultures et la fertilité des sols
L3.2.1	Rédaction article et référentiel sur l'effet du vermicompost sur différents services écosystémiques
L3.2.2	Premier référentiel sur l'effet du vermicompostage sur les services écosystémiques rendus par les sols
L4.1.1	Cartographie des acteurs et des coordinations
L4.2.1	Analyse économique des coûts potentiels et des bénéfices économiques sociaux et environnementaux
L4.3.1	Cadre d'analyse : qualifier et quantifier ces externalités
L5.1.1	Cadre d'analyse du déploiement
L5.2.1	Freins et leviers de déploiement sur les territoires de Givors et Besançon
L5.3.1	Document technique: analyse de la filière de vermicompostage

Tableau 2 : les livrables du projet VALOR

Pour les jalons (tableau 3), voici les décisions prises ou à prendre :

- Jalon 1 (mars 2022) : revoir la valorisation des données. Globalement nous allons rendre les livrables prévus (Cf partie résultat), avec un délai pour le livrable 1.3.1 (site internet), qui est en cours de finalisation (mise en ligne prévue mars 2022).
- Jalon 2 (Décembre 2021) : revoir le choix des filières. Nous avons validé le choix des filières à étudier, elles sont présentées dans le lot 2 et le lot 4.
- Jalon 3 (Décembre 2021) : problème de normes pour les vermicomposts. Nous avons réalisé une partie des analyses des vermicomposts (Cf partie résultat), et ils sont aux normes.
- Jalon 4 (Novembre 2021) : épandage de matières supplémentaires sur le site d'essai. Suite au COVID, nous avons revu notre plan expérimental et effectivement réalisé un deuxième apport de vermicompost, composte et digestat sur le site d'essai principal (Cf partie résultat).
- Jalon 5 (fin 2021 – début 2022) : revoir le cadre d'analyse des filières pour le lot 4. Nous avons fait une réunion d'équipe en octobre 2021 où nous avons bien précisé les modèles de filière de vermicompostage à étudier (Cf partie résultat), nous avons choisi quelques filières clés pour mettre en œuvre notre analyse socio-économique du vermicomposts.
- Jalon 6 (Mai 2021) : déploiement sur d'autres territoires. Nous avons gardé la ville de Givors comme territoire de déploiement de la filière, des expérimentations sont en cours. Pour le deuxième territoire nous sommes confronté à un changement de contexte : les communes se hâtent de mettre en œuvre des plans de gestion des biodéchets à l'échéance 2023-2024. Cela bouscule notre analyse car elles sont moins réceptives à une phase d'expérimentation. Toutefois, nous avons revu le lot 5 pour en tenir compte (Cf partie résultat), et misons pour le moment sur la ville d'Annemasse en Haute Savoie.

<u>Numéro</u>	<u>Jalons</u>
J1	Validation des résultats avant début de diffusion, revoir la valorisation suivant les premiers résultats
J2	Revoir le choix des filières suivant les données disponibles
J3	Analyse de certains vermicompost pas aux normes, étude des blocages
J4	Pas assez d'effets sur une année, nouvel apport d'amendements pour un suivi d'une année
J5	Revoir le cadre d'analyse 5.1.1 si manque de données, critères non prévus
J6	Désistement/impossibilité de déploiement sur un ou des territoires, recherche d'autres territoires

Tableau 3 : les jalons du projet VALOR

3. Résultats : du 19 Novembre 2020 au 15 Février 2022

3.1. Lot 1 ‘Vie du projet’

3.1.1. Tâche 1.1 La coordination du projet

L'ISARA assure la coordination du projet. Depuis le début du projet plusieurs comités de pilotage, de suivi, réunions de travail et d'équipe ont eu lieu. Le nombre, la date et l'objet de ces réunions sont détaillées dans la tâche 1.2. Dans cette tâche les livrables sont : le plan de gestion des données (L 1.1.) au démarrage du projet et le rapport intermédiaire de l'année 1 du projet (rendu 19 février 2022). Pour gérer les données nous avons mis en place un cloud partagé et sécurisé sur ISARA cloud (plateforme Nextcloud©), où les réalisations sont compilées. Chaque partenaire garde pour le moment ces données brutes, et met à disposition l'état d'avancement de ces travaux à date sur le cloud. Le document compilant le plan de gestion des données est en cours de finalisation (manque des informations de partenaires). Ce présent document correspond au livrable L 1.1.2, soit le premier rapport intermédiaire du projet VALOR.

Pour l'instant nous n'avons pas eu de réunion spécifique sur l'appel à projet graine (réunion avec d'autres porteurs de projets), nous avons juste réalisé une fiche de présentation du projet demandé et compilé par l'ADEME dans le cadre de cet appel à projet.

L'ISARA fait des points réguliers avec chaque partenaire sur le suivi administratif et financier (à chequer réunion d'équipe), mais chacun assure la justification financière de son institut.

3.1.2. Tâche 1.2 L'animation du projet

Le tableau 4 synthétise toutes les réunions et animation que nous avons réalisées depuis le démarrage du projet, tous les comptes rendus de ces activités sont disponibles et partagés sur le cloud ISARA. Au 19 février, nous avons réalisé 3 livrables prévus (L 1.2.1, L 1.2.2 et L 1.2.3), avec un décalage de quelques mois par rapport au prévisionnel. Nous avons programmé trop tôt les comités de suivi et de pilotage (pratiquement au démarrage du projet), ce qui finalement n'était pas très judicieux. Ainsi il nous manque un livrable à date, le L 1.2.4, soit le compte rendu du deuxième comité de pilotage prévu normalement le mois 14 soit février 2022. Le deuxième comité de pilotage sera décalé afin de laisser un an entre deux comités, il est prévu en mai ou juin 2022.

<u>Réunions</u>	<u>Date</u>	<u>Objet / Livrables</u>	<u>Personnes concernées</u>
Réunion d'équipes			
Démarrage du projet	2/11/20	Préparer le projet VALOR/ reprise de l'annexe technique	Partenaires projet / ADEME (via échange de mail)
Avancement	09/12/20	Définition des filières, travaux engagés	Partenaires projet
Avancement	28/01/20	Focus sur les travaux sur les émissions de GES	Partenaires projet
Avancement	31/03/2021	Avancement des travaux, points sur les lots	Partenaires projet
Avancement	26/05/2021	Préparation présentation école urbaine (CF. valorisation) et stage Eisenia été 2021	Partenaires du projet
Avancement	07/09/2021	CR de la réunion avec métropole (CF valorisation), bilan stage été 2021, états d'avancement des lots	Partenaires du projet
Atelier de travail	19/10/2021	Définition des modèles de fonctionnement du vermicompostage à l'échelle d'un territoire (CF. Lot 4)	Partenaires du projet

Préparation site internet	11/2021	Rencontre avec webdesigner	Partenaires du projet + webdesigner
Préparation de livrable	02/02/2022	Préparation des livrables du lot 2	Partenaires du projet
Préparation travaux étudiants et CDD	08/02/2022	Préparation des travaux des lots 4 et 5 pour 2022	Partenaires du projet
Comité de suivi			
Visio	07/01/2021 Décalage de 3 mois / prévisionnel	Point intermédiaire d'avancement des travaux L.1.2.1 : ppt du COS,	Partenaires du projet + ADEME (F. Muller)
Visio	11/01/2022 Décalage de 3 mois / prévisionnel	Point intermédiaire d'avancement des travaux L.1.2. 3 : ppt du COS	Partenaires du projet + ADEME (F. Muller)
Comité de pilotage			
Visio	07/05/2021 Décalage de 6 mois / prévisionnel	Présentation du projet VALOR et des premiers résultats, orientation du projet L.1.2.3 : ppt du COPIL + discussion	Partenaires du projet + membres du comité de pilotage (M. Barla, Métropole de Lyon ; M. Bienvenue, ville de Givors ; M. Borron, co-fondateur Eisenia / Societé terrestres ; Mme Canonier, CA du Rhône ; Mme Menasseri, Agrocampus Ouest Rennes ; Mme Muller, ADEME, Mme Schwebel, Région AURA)
Visites			
	28/01/2021	Visite des vermicomposteurs installés à Lyon 1	Partenaires projet
	26/05/2021	Visite des plateformes agricoles de vermicompostage à Saint Joseph (et d'un site d'essai)	Partenaires projet

Tableau 4 : Activités du projet VALOR du 2/11/2020 au 19/02/2022

3.1.3. Tâche 1.3 La valorisation du projet

Nous sommes en début de deuxième année du projet VALOR, ainsi seules deux livrables étaient prévus à date : le site internet (L 1.3.1) et une visite des plateformes de vermicompostage et présentation des premiers résultats (L 1.3.2) (Tableau 5). Nous avons pris du retard sur le site internet, car nous pensions au démarrage insérer des pages dans les sites de nos institutions. Cela s'est avéré compliqué, donc nous sommes partis sur un site dédié au projet et réalisé par un webdesigner. Le travail est en cours de finalisation et le site devrait être mise en ligne en mars 2022 sous l'adresse : vermicompost.fr. Pour le deuxième livrable, nous avons avancé sa réalisation, grâce à l'opportunité de présenter nos travaux et les sites de vermicompostage dans le cadre du séminaire métabolisme de l'école urbaine de Lyon. Ces journées ont été très intéressantes et ont inscrit le projet dans le panorama des recherches Lyonnaises sur les matières organiques. D'autres valorisations sans livrable spécifique sont aussi recensées dans le tableau 5.

D'un point de vue pédagogique, de nombreux étudiants de l'INSA Lyon, de Lyon 3 (niveau L3, master 1 et 2) et une étudiante de l'ISARA (niveau L3) ont participé à des travaux de VALOR dans le cadre de leur formation (travaux de groupe, stage etc.).

<u>Valorisation</u>	<u>Date ou période</u>	<u>Contenu / Livrables</u>	<u>Public</u>
Fiche descriptive du projet	Été 2021	Présentation du projet VALOR / recueil des projets GRAINE ADEME	Extérieur, via ADEME
Séminaire métabolisme (Ecole urbaine de Lyon)	23-25/06/2021 En avance de 7 mois	Présentation des travaux VALOR lors du séminaire (PPT) + visite des expérimentations de Givors et de la plateforme de vermicompostage de Saint Joseph avec les participants du séminaire Livrable L1.3.2	Chercheurs et étudiants, partenaires du projet
Site internet	Fin 2021-début 2022 Retard de un an	Finalisation du site internet pour mise en ligne en mars 2022, livrable L 1.3.1	Tout public
Article scientifique	Toute la période	Rédaction d'un article de revue de la littérature sur la qualité du vermicompost de biodéchets – en cours de révision (accepté ASD, révisions majeures)	Scientifiques
Présentation du projet à la métropole de Lyon	03/09/2021	Présentation et discussion avec vice-présidente au déchet et vice-président à l'agriculture autour de l'insertion de VALOR dans leur projet	Elus

Tableau 5 : Valorisation du projet VALOR du 2/11/2020 au 19/02/2022

Les prochaines livrables prévus en 2022 sont : (1) une visite des essais pour les agriculteurs (à programmer en juin après semis mais avant récolte (L1.3.3) et (2) des brochures issues de guides techniques et référentiel prévus dans le lot 2 (L1.3.4 et L1.3.5) en avril-juin 2022. Nous allons décaler le rendu de ces livrables de 3 mois chacun, car nous préférons bien finaliser les livrables du lot 2 avant de faire une synthèse courte à destination du grand public. D'un point de vue pédagogique, de nombreux étudiants de l'INSA Lyon, de Lyon 3 et une étudiante de l'ISARA ont participé à des travaux de VALOR dans le cadre de leur formation.

3.2. Lot 2 'Caractérisation des filières de vermicompostage collectif sur la métropole de Lyon'

3.2.1. Tâche 2.1 Description des différentes filières de vermicompostage et analyse des flux de matières sur le territoire modèle

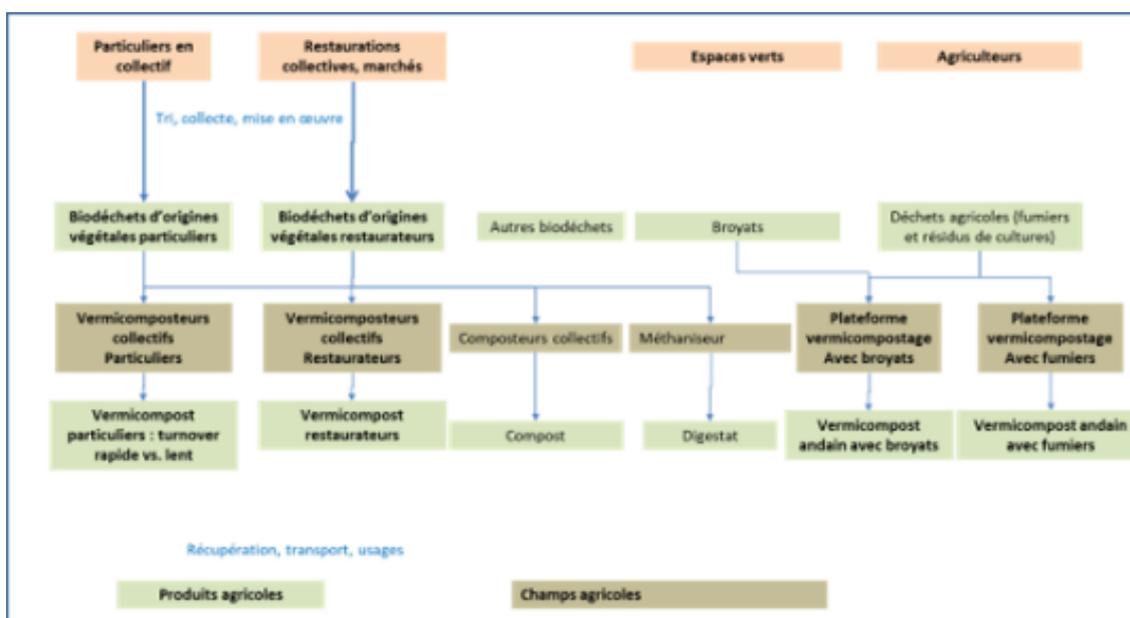


Figure 3 : les filières de traitement des biodéchets sur la métropole de Lyon

3.2.1.1. Caractérisation de la filière vermicompostage

Quel que soit la catégorie, des principes fondamentaux s'appliquent à tout processus de vermicompostage. Pour démarrer, il faut apporter de vers de terre épigés (vers de terre évoluant en surface, grand consommateurs de matière organique fraîche (*Eisenia fetida* dans notre cas - 2 à 4 Kg de vers par m² idéalement). Cet apport se fait en général à même le sol au sein du dispositif de vermicompostage. Au démarrage et durant le processus de vermicompostage, on apporte des biodéchets par le haut. Chaque vermicompost démarre par une phase initiale dite de vermiculture. Celle-ci vise à multiplier les vers présents afin qu'ils s'adaptent à la quantité de déchets que l'on souhaite valoriser. Puis on organise la migration des vers pour séparer les vers de la matière transformée (vermicompost) afin de ne pas les extraire du milieu. Le Processus de vermicompostage est dit « à froid » (moins de 30°), ou avec une chauffe très limitée et contrôlée, afin de maintenir la population de vers en vie ainsi que la faune du compost durant tout le processus. Ceci est une différence majeure avec le compostage autrement nommé compostage thermique, où les phénomènes de « chauffe » puis de maturation crée des phases différentes avec des températures pouvant atteindre 70°

Dans le cadre du projet VALOR, nous distinguons 2 catégories de techniques de vermicompostage collectif pouvant traiter des biodéchets urbains et mobilisant les principes énoncés ci-dessus : des vermicomposteurs collectifs pieds d'immeuble (deux types) et des plateformes de vermicompostage (deux types).

Les vermicomposteurs collectifs en pied d'immeuble dans des bacs (Figure 4) : ces vermicomposteurs sont situés dans des quartiers de ville, accueillent des biodéchets de ménage, de professionnels ou de marchés. Le vermicompostage est donc assuré 'sur place' dans des bacs.

Deux types sont recensés dans cette catégorie : les modèles de vermicomposteurs dits « lents » ou « rapides ». Ils sont identiques dans leur conception, c'est la méthode de gestion qui va différer. Nous partons du principe que la méthode dite « lente », car moins de déchets rentrent sur une période, permettant de les garder plus longtemps en traitement, ce qui permet une bonne maturation de la matière organique. La gestion plus intensive (méthode « rapide »), avec des quantités plus importantes de biodéchets amenés et donc une nécessité de garder le vermicompost moins longtemps, est plus complexe mais permet d'augmenter le flux de matière traité. Le choix de l'une ou l'autre des techniques de gestion peut être fait « par défaut » (lorsque nous avons sous-estimé les quantités d'apport, nous adoptons la méthode de gestion « rapide » afin d'absorber le flux) ou au contraire, de façon choisie au préalable, pour optimiser la surface et avoir le moins d'espace pris au sol par le vermicomposteur.



Figure 4 : Lombricomposteur collectif, 40 foyers, 2 bacs d'apports, Lyon 1 lombricomposteur pour marché alimentaire, Givors, 6 bacs d'apports, cap. 8 T par an

La figure 5 schématise le fonctionnement d'un lombricomposteur 'lent', sachant que son fonctionnement est très proche d'un rapide. Ainsi, le processus est simple : les apports sont réalisés d'abord dans le 1er bac (étape 1). Lorsque celui-ci est plein, il est fermé au public et les apports sont alors faits dans le bac suivant (étape 3). Le premier bac rentre en phase de maturation (étape 4) jusqu'à la récolte (étape 5). Puis cela recommence du bac 2 vers le bac 1 (étape 6).

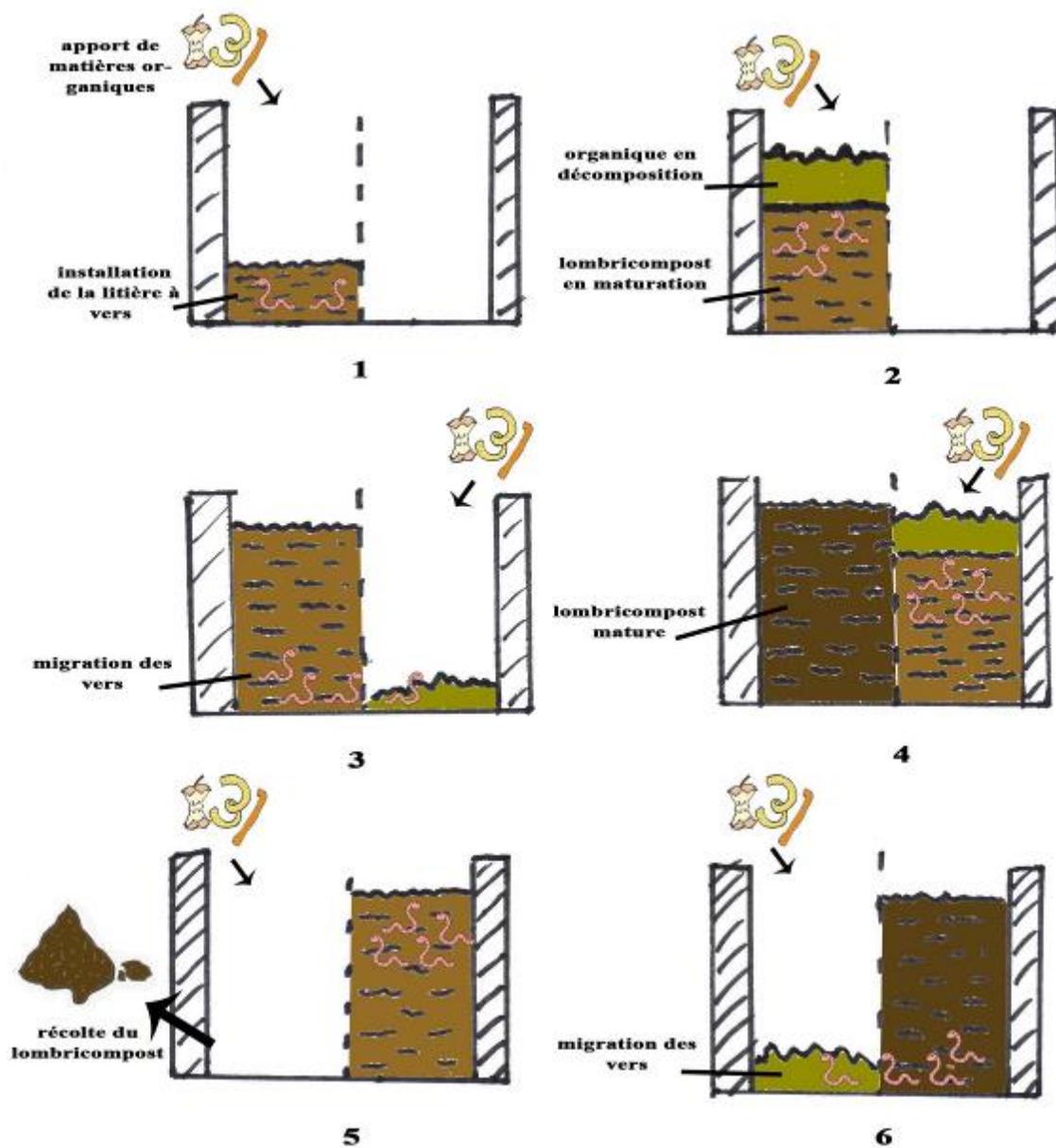


Figure 5 : Schéma de gestion d'un lombricomposteur "lent"

Le vermicompostage sur plateforme : le vermicompostage est effectué en andain (Cf figure X), sur des plateformes dédiées, et nécessitent ainsi de collecter les biodéchets pour les amener sur ces plateformes.

Nous recensons deux types de plateformes, péri-urbaines ou agricoles. Quel que soit la plateforme le processus est le même (Figure 6), très proche de celui en bac décrit plus haut mais ici sous forme d'andain.



Figure 6 : Schéma du processus de vermicompostage sur plateforme- contact au sol

Sur les plateformes urbaines, les andains sont constitués de biodéchets + broyat ou autres déchets verts, ne dépasse pas 80 cm de haut et 3 m de large. Ce type de plateforme peut en théorie valoriser jusqu'à une centaine de tonne / an, sur un espace de 250m² environ (100m² pour les andains + stocks, dégagements et accès). Sur les plateformes agricoles, l'andain est constitué de biodéchets + fumiers + résidus de culture + déchets vert, ne dépasse pas 1,50m de haut et 3m de large. Ce type de plateforme peut en théorie fonctionner sur des très gros volumes (des centaines de tonnes), si disponibilité de terrain. La différenciation entre les types de plateforme ce fait donc principalement autour de deux critères : la composition des andains (nature des biodéchets) et la taille de ce dernier (figure 7) ; et leur localisation.



Figure 7 : Plateforme urbaine à Ecully



Plateforme agricole du Gaec du Murier – Saint Joseph

3.2.1.2. Caractérisation du processus de vermicompostage collectif

Au travers d'un stage réalisé en 2021, nous avons caractérisé plus précisément le fonctionnement des vermicomposteurs pour bien évaluer les flux de matière entrant ce qui va conduire à la réalisation d'un guide. Ces données sont aussi mobilisées dans les scénarios d'évaluation d'émissions de Gaz à effet de serre, le choix des vermicomposts à analyser en tâche 2.2, et aussi dans l'analyse socio-économique et environnemental du lot 4.

Pour vérifier les hypothèses issues des observations de l'association décrites dans le tableau 6, Lola Broyer a effectué un stage au cours de l'été 2021. Les données issues de son rapport sont destinées à alimenter les guides en cours de rédaction. Le stage a porté sur 2 points principaux : quantification des apports dans les vermicomposteurs et le suivi du processus de vermicompostage et étude de la biodiversité.

<u>Rapide</u>	<u>Lent</u>
J1 Vermicomposteurs de plein sol (contact avec la terre), composé de 2 à 6 bacs d'apports, pouvant traiter de 400kg à 10 T / an, suivant les modèles.	Vermicomposteurs en plein sol (contact avec la terre), composé de 2 à 6 bacs d'apports, pouvant traiter de 200kg à 6 T / an de biodéchets frais suivant les modèles.
Les vermicomposteurs sont beaucoup utilisés (apports en continu et importants en volume). A titre indicatif, nous pouvons considérer qu'un vermicomposteur accueillant les biodéchets de + de 8 foyers « classiques » (familles de 2 à 4 personnes) par m ² devra fonctionner en mode « rapide », et traiter entre 800 et 1200 Kg	Les vermicomposteurs sont peu à moyennement utilisés. A titre indicatif, nous pouvons considérer qu'un vermicomposteur accueillant les biodéchets de 1 à 7 foyers « classiques » (familles de 2 à 4 personnes) par m ² pourra fonctionner en mode « lent ». Les quantités exactes de biodéchets tolérés dans ce fonctionnement sont à déterminer précisément ; notre expérience nous indiquerait de 400 à 800 kg de biodéchet traité par m ² et par an avec ce mode de gestion.

Tableau 6 : les deux processus de vermicompostage collectif en pied d'immeuble : lent ou rapide.

3.2.1.2.1. Quantification des apports dans les vermicomposteurs

Depuis la mise en place des vermicomposteurs par l'association, il est difficile d'estimer avec certitude la masse et le volume apportés par les usagers et donc de déterminer la capacité de valorisation des vermicomposteurs au m². L'objectif principal du travail réalisé a été de connaître avec le plus de précision possible la masse de déchets valorisée par les vermicomposteurs étudiés. Pour répondre à ces interrogations, une enquête en ligne auprès des usagers a été mise en place. Des données ont été collectées concernant (1) l'estimation des apports de biodéchets par foyer et par personne afin de pouvoir estimer la capacité d'accueil d'un vermicomposteur et comparer avec les données existantes (ADEME) et (2) mieux connaître les habitudes des usagers.

Le questionnaire a été envoyé aux 259 usagers de 10 vermicomposteurs Lyon 1er, nous avons reçu 107 réponses, soit un taux de réponse de 40,7%.

Grâce aux données recueillies et leurs analyses (Figure 8), nous avons pu calculer la quantité biodéchets apportées / m² / an. Nous avons ainsi estimé que celle-ci se situait entre 550 et 1080 kg, ce qui est proche des estimations jusque-là utilisées par l'association avec une capacité de traitement théorique de 1 T/m²/an. Une quantité d'apport par personne de l'ordre de 60 à 72 kg / an, soit un chiffre légèrement plus faible que les estimations de biodéchets compostables (83 kg selon ADEME 2020).

Bellevue		Taux de réponse: 43,75%				Somme en L/semaine sur les réponses :		40,75 L		
2 bacs	Réponses aux questions :		Total une semaine :				Somme en L par an sur les réponses:		2119 L	
	3 fois par semaine	3L	9 L							
	1 fois par semaine	3L	3 L							
	1 fois par semaine	5L	5 L							
	1 fois par semaine	3L	3 L							
	1 fois par mois	3L	0,75 L							
	1 fois par semaine	10L	10 L							
1 fois par semaine	10L	10 L								
						Par semaine en kg entre :		20 kg et 25 kg		
						Par an en kg entre :		1060 kg et 1324 kg		
						Surface du VC :		3,80 m ²		
						Estimation tous foyers sur 1 an entre :		2422 kg et 3027 kg		
						Estimation par m ² entre :		637 kg et 797 kg		

Figure 1 : exemple : Etapes de calculs des apports annuels dans le VC de Bellevue

Figure 8 : exemple de calculs des apports annuels dans un vermicomposteur suivant la déclaration des usagers

3.2.1.2.2. Suivi du processus de vermicompostage et étude de la biodiversité

Nous avons caractérisé en fonction du pH, de l'humidité et de la température le processus de vermicompostage dans le temps au sein de la métropole de Lyon. Ce suivi a également eu pour objectif d'identifier les facteurs impliquant des dysfonctionnements et la façon dont ils se traduisent par rapport aux données mesurées. Ces analyses ont pour vocation d'aider à la gestion lors de la mise en place de nouveaux vermicomposteurs. Enfin, les vermicomposteurs constituent des écosystèmes pour de nombreuses espèces, nous avons ainsi étudié la biodiversité au sein de vermicomposteurs.

Une approche terrain (suivi des 10 vermicomposteurs, 5 'rapides' et 5 'lents') a été mise en œuvre. Nous aurions voulu aussi effectuer des pesées afin de bien quantifier les flux entrants et sortants mais cela n'a pas pu être réalisé à l'été 2021 (faible utilisation des vermicomposteurs), cela est prévu au printemps 2022. Pour suivre le pH, la température et l'humidité, des relevés réguliers de ces 3 paramètres sur 10 points ont été effectués dans chaque vermicomposteurs étudiés (5 VC lents / 5 VC rapides), de façon hebdomadaire pendant la durée du stage (juin à septembre 2021). D'autres mesures (relevés mensuels) vont continuer à être effectuées mensuellement afin d'observer d'éventuels impacts saisonniers. Pour la biodiversité, nous avons posé des pièges barber dans 5 lombricomposteurs, l'analyse des captures a été réalisée par l'association naturaliste « des espèces parmi Lyon », seules les macro et mésofaunes ont été déterminées.

Les principaux résultats montrent que la différence de gestion entre des modes lent ou rapide n'a pas d'impact significatif sur ces paramètres, montrant la stabilité du processus quel que soit l'utilisation des vermicomposteurs. Globalement les valeurs de **pH** (entre 7 et 8,3) et **hygrométrie** (63 à 66% - Figure 9) sont relativement homogènes entre les différents bacs et étapes du processus. Les écarts de **températures** sont plus importants (Figure 9) mais corrélés à la température extérieure (valeurs systématiquement entre +5 et -5° par rapport à la température extérieure).

En termes de biodiversité, nous observons une très grande richesse (biomasse / variété) relevé dans les échantillons, mais avec de fortes variations du contenu à un instant t (espèces aux régimes alimentaires très spécifiques). La majorité des espèces sont synanthropiques (espèces pouvant vivre près de l'homme) et cosmopolites. Une étude plus approfondie est en cours.

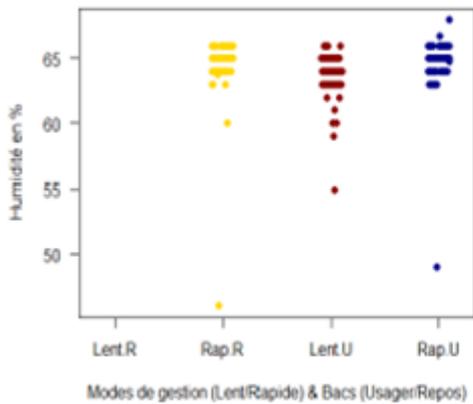


Figure 11 : Stripchart de l'humidité en fonction du mode de gestion et du bac

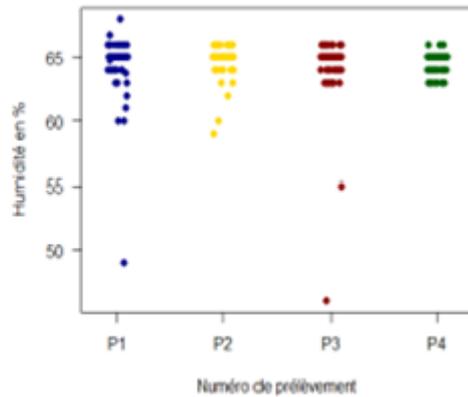


Figure 12 : Stripchart de l'humidité en fonction du numéro de prélèvement

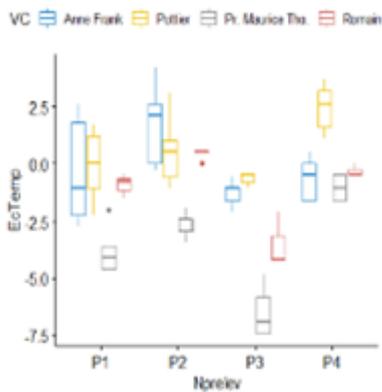


Figure 28 : Boxplots des écarts entre les températures du mode de gestion extensif en fonction des VC et des numéros de prélèvement



Figure 9 : principaux résultats des suivis chimique et biologique de 10 vermicomposteurs collectifs (Stage 2021)

Conclusion

Au final, le questionnaire a permis d'estimer plus ou moins précisément les apports faits au sein des VC et de confirmer les hypothèses émises par l'association Eisenia. Les utilisateurs sont très satisfaits des VC. Le questionnaire a aussi mis en évidence le profil des foyers inscrits : des ménages de 2 personnes plutôt jeunes appartenant à des classes supérieures.

Pour la caractérisation du processus, nous avons montré que bien qu'il existe des différences statistiques à travers les facteurs que nous avons étudiés (température, pH et humidité), il est néanmoins facile de caractériser des fourchettes de valeurs par facteurs : entre 7 et 8,3 pour le pH, entre -5°C et +5°C pour la température par rapport à celle extérieure et entre 63 et 66% pour l'humidité. Ces intervalles respectent les exigences écologiques des vers de terre et le bon déroulement du processus. L'étude sur la biodiversité renforce le caractère innovant de ce type de valorisation des déchets organiques, avec d'importantes diversité et abondance faunistiques.

L'ensemble des résultats de la caractérisation des processus de vermicompostage vont donner lieu à deux livrables : (1) **L 2.1.2** un guide technique du vermicompostage collectif (en cours de réalisation – prévu pour juin 2022), à destination des utilisateurs finaux (collectivités, citoyens, etc.) et (2) **L 2.1.3** un guide technique du vermicompostage agricole, qui a comme objectif de focaliser sur l'utilisation de biodéchets (car il existe de nombreux guides pour le vermicompostage avec des produits d'origine agricole), en cours de réalisation (prévu pour septembre 2022).

3.2.1.3. Analyse des flux de matières et émissions de GES des filières vermicompostage, compostage et méthanisation sur le Grand Lyon

Globalement, 66 kg de biodéchets/habitants et par an sont produits en 2020 (données PLPDMA du Grand Lyon) sur la métropole de Lyon. Une partie est directement amenée à la déchèterie, il reste ainsi 46 kg/habitant/an à traiter par la métropole, soit un gisement de l'ordre de 64 000 tonnes/an. Avec des données légèrement affinées, et en ajoutant les biodéchets des marchés et restauration collective (etc.), on arrive à un ordre de grandeur de 85 000 tonnes de biodéchets à valoriser/an.

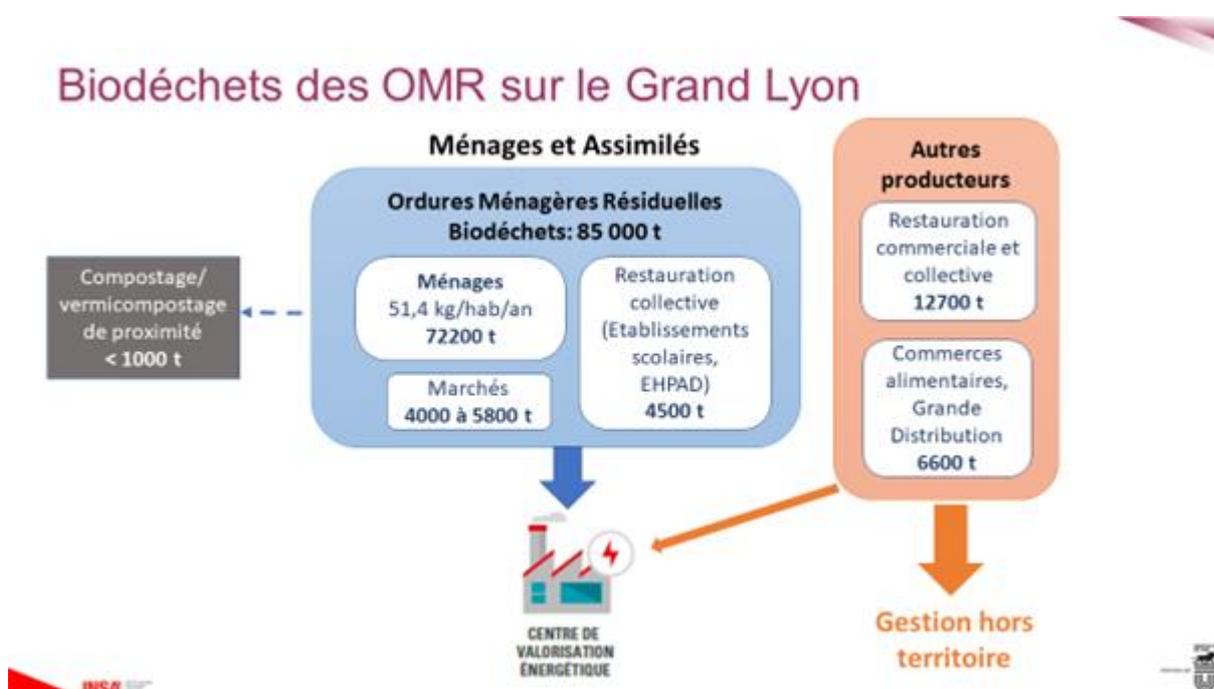


Figure 10 : flux de biodéchets sur le Grand Lyon en 2020

Or pour le moment, une enquête et étude bibliographique réalisée par des étudiants de l'INSA, a permis d'estimer que moins de 1000 t sont valorisés en compostage et vermicompostage de proximité (Figure 10). La recherche de capacités locales de

traitement en 2021 montre que pour le moment seulement 10 000 tonnes peuvent être prises en charge (Figure 11) dans les unités existantes (de compostage, vermicompostage et méthanisation). Toutefois ces chiffres sont déjà ‘vieux’, en effet le contexte change et la métropole est en train d’investir dans des unités de compostages, alimentées par la collecte des biodéchets de la ville (expérimentation en cours à Lyon 7^{ième}).

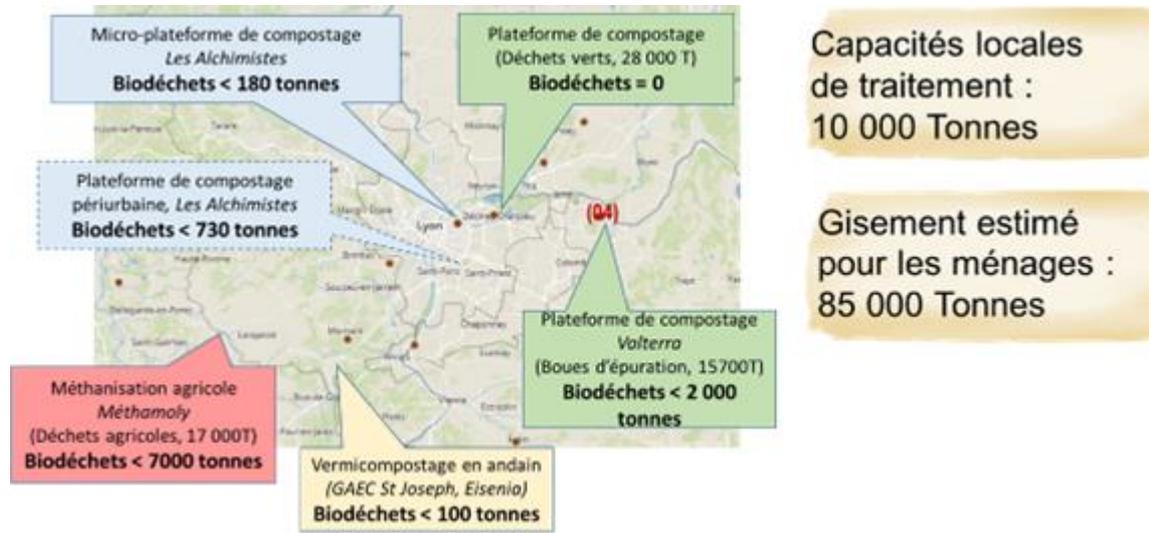


Figure 11 : capacité de traitement des biodéchets sur le Grand Lyon en 2021

Pour réaliser une estimation des capacités de traitement actuelles des biodéchets par compostage et vermicompostage, des cartes des acteurs ont été produites (Figure 12 pour le compostage et Figure 13 pour le vermicompostage). Ces cartes ont servi aussi à bien caractériser les postes d’émission de GES (Cf. paragraphe suivant) et sont mobilisés dans le lot 4 pour réaliser des évaluations socio-économiques des filières.

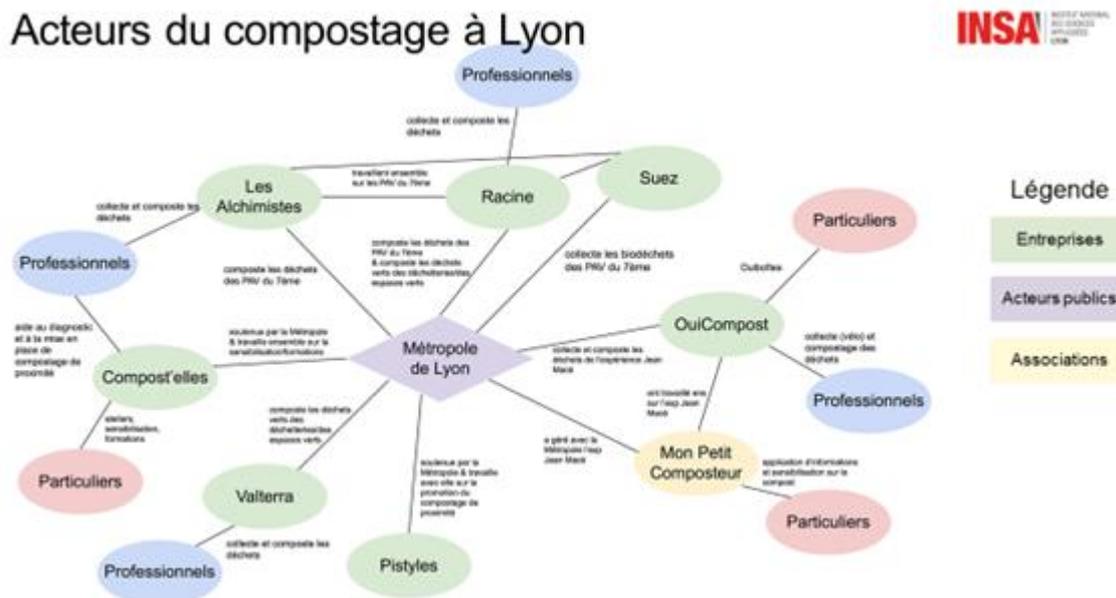


Figure 12 : les acteurs du compostage collectif sur le Grand Lyon

Acteurs du vermicompostage à Lyon

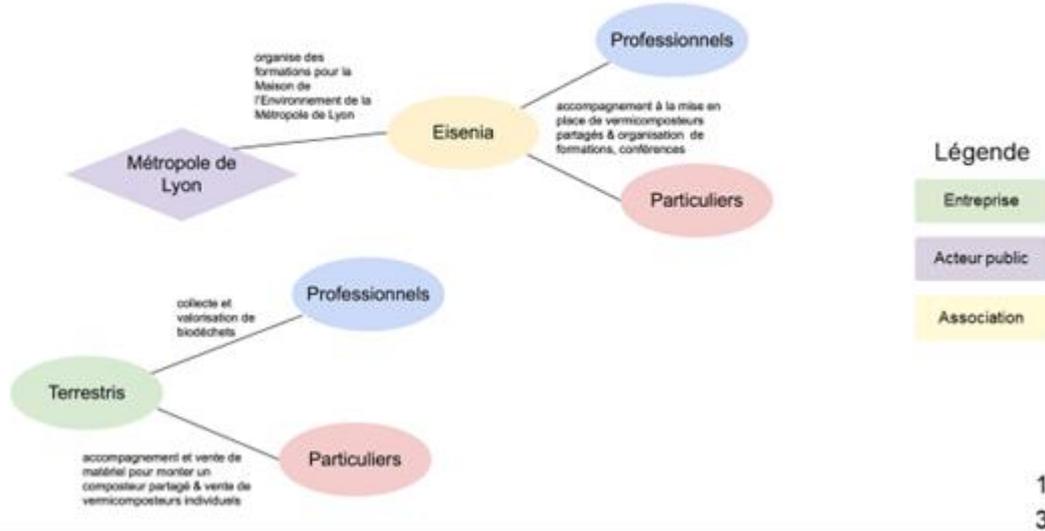


Figure 13 : les acteurs du vermicompostage collectif sur le Grand Lyon

L'ensemble des données est compilé dans un PDF, qui constitue le livrable L 2.1.1 (Cartographie des flux de biodéchets sur la métropole de Lyon et solution de vermicompostage associé).

En parallèle de la caractérisation des flux de biodéchets et acteurs concernés sur la métropole de Lyon, nous avons avancé l'évaluation des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES). Ainsi, nous avons construit une méthode d'évaluation des GES pour ces filières spécifiques via des travaux d'étudiants de l'INSA encadré par Chantal Berdier, validés à différents moments par le groupe projet VALOR. Nous sommes partie de la méthodologie bilan GES validée par l'ADEME, en partant d'un SCOP 3. Nous avons recensé les postes d'émission (Figure 14), puis cherché des facteurs d'émission pour chaque poste recensé et différentes filières, ce qui a conduit à formaliser des bases de données. Cette étape est complète à ce jour (Figure 15). De même l'incertitude des facteurs d'émission a été analysée et inclut dans les bases de données. Nous devons maintenant améliorer l'outil excel et formaliser des scénarios à évaluer. Cette phase de scénarisation correspond à une formalisation des filières actuelles sur la base des travaux de la tâche 2.1 mais aussi une extrapolation à faire en lien avec le développement actuel des filières de traitement des biodéchets.



Figure 14 : les principaux postes d'émission de GES lors du traitement de biodéchets

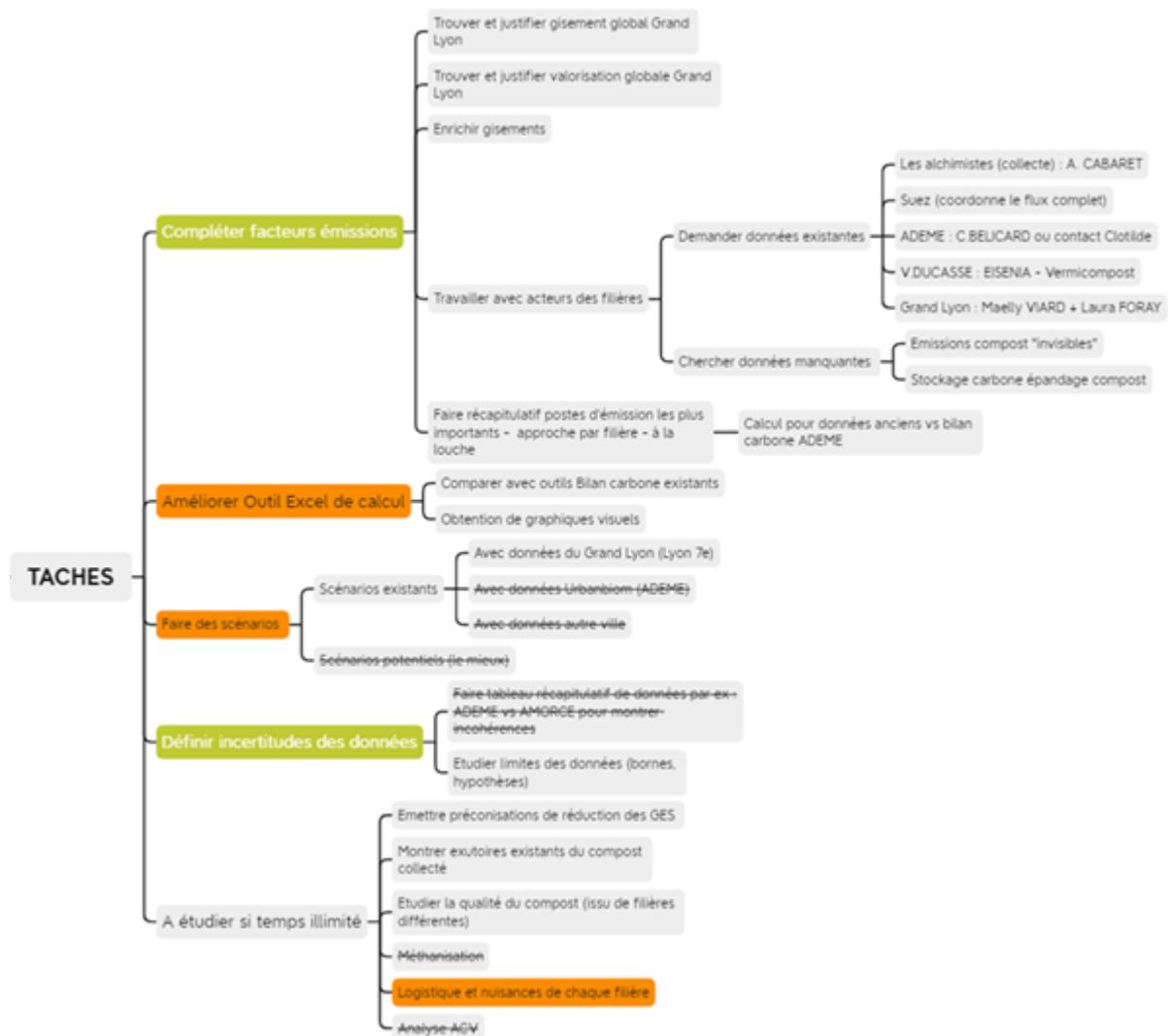


Figure 15 : Etat d'avancement des travaux sur l'évaluation des émissions de GES lors du traitement de biodéchets

3.2.2. Tâche 2.2 Caractérisation sanitaire, agronomique et technique des vermicomposts issus des différentes catégories de vermicompostage

Dans cette tâche, nous avons comme objectif de caractériser la qualité des vermicomposts. Pour cela trois approches ont été retenues : (1) une caractérisation complète de 4 types de vermicompost en lien avec les catégories vues en tâche 2.1 (plateforme agricole avec biodéchets + fumier, plateforme urbaine avec biodéchets et broyat, vermicomposteurs collectifs avec biodéchets et carton, modes lent et rapide) ; (2) un focus sur les qualités agronomiques et sanitaires (pathogènes) de vermicomposts collectifs avec 10 analyses (5 lents et 5 rapides) pour étudier la variabilité du produit ; (3) la comparaison de qualités agronomiques et sanitaires de vermicompost collectif avec un compost et un digestat de méthaniseur issus de biodéchets.

Nous avons aussi réalisé une revue de la littérature sur la qualité des vermicomposts issus de biodéchets, et une comparaison compost vs vermicomposts. Cette revue est en cours de révision pour le journal *Agronomy For Sustainable Development* (accepté révision majeure en février 2022). Les données de la revue de littérature seront ajoutées au référentiel.

Pour les deux premières approches, une partie des vermicomposts sont analysés, mais il nous manque encore les données sur les vermicomposteurs collectifs lents. Ainsi nous ne présenterons pas les résultats dans ce rapport. Normalement toutes les analyses seront effectuées à l'été 2022. La troisième approche, à savoir la comparaison entre vermicompost, compost et digestat, est finalisée, est présentée succinctement dans ce rapport et va donner lieu à l'écriture d'un article scientifique. **L'ensemble des approches sera mobilisé pour rédiger le livrable L 2.2.1 Référentiel de qualité de différents vermicomposts, qui sera ainsi livré à l'automne 2022 et non en février 2022 comme prévu.**

3.2.2.1. Qualités agronomique et sanitaire du vermicompost et compost: données issues de la bibliographie

Nous avons estimé la qualité en tant qu'amendement organique des différents vermicomposts recensés dans la littérature selon les critères pH, C/N, OC, Ntot, P, K, Ca, Mg, Na, Cu, Fe, Mn, Zn, Cd, Cr, Ni et Pb (tableaux 7 et 8). Les résultats sont très hétérogènes d'une analyse à l'autre, notamment en ce qui concerne les éléments traces métalliques qui dépendent réellement de la qualité des déchets entrants plus que du procédé lui-même.

Concernant les paramètres agronomiques de l'amendement organique, la norme européenne fixe des seuils minimaux de C/N à 8, de matière sèche à 30% et de matière organique à 20%, soit 34,4% de carbone organique (OM x 1,72). Aucune étude sélectionnée ne précise la teneur en matière sèche du produit final mais on constate que le C/N est conforme pour toutes les analyses à l'exception d'une valeur extrême de 2,35 pour le vermicompost issu de déchets alimentaires seules. Le C/N, qui est un bon indicateur de l'apport en nutriments est très variable selon le type de déchets utilisés pour fabriquer le vermicompost. En effet, pour les déchets plus carbonés comme le papier et les déchets verts, le C/N est plus élevé que pour les déchets alimentaires. **Quant au carbone organique, aucune médiane n'était conforme à la norme européenne, ce qui remet en cause sa normalisation sous forme d'amendement. Par ailleurs, les différents vermicomposts présentent des teneurs assez élevées en N, P et K (même si elles restent inférieures aux 3% maximum de la norme NF U 44 051) ce qui peut nous amener à nous demander s'il faut les catégoriser comme amendement ou plutôt comme engrais.**

		pH	C/N	Corg (%)	Ntot (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)
Urban waste mix	Food (22)	7.31 (13) 5.10 – 8.00	13.06 (18) 2.35 – 24.66	16.86 (18) 7.8 – 44.17	1.44 (22) 0.85 – 4.3	0.42 (13) 0.11 – 2.70	1.06 (13) 0.2 – 9.2	1.59 (8) 0.31 – 5.3	0.35 (8) 0.11 – 0.55	0.18 (4) 0.05 – 1
	Various mix (15)	7.90 (14) 6.9 – 8.50	16.60 (15) 10.83 – 33.13	18.21 (15) 9.80 – 40.53	1.2 (15) 0.36 – 1.9	0.43 (8) 0.18 – 1.37	1.29 (6) 0.21 – 2.86	1.05 (3) 0.03 – 7.26	NA	NA
	Food + paper (11)	7.50 (7) 6.06 – 9.20	10.09 (4) 8.64 – 12.9	27.14 (4) 20.24 – 39.6	2.34 (5) 1.97 – 3.52	0.22 (8) 0.09 – 1.34	0.76 (8) 0.1 – 1.76	1.07 (8) 0.11 – 6.09	0.32 (8) 0.08 – 1.9	NA
	Green waste (7)	6.90 (7) 6.31 – 7.60	13.96 (6) 6.25 – 23.95	25.05 (6) 18.20 – 31.7	2.11 (6) 0.86 – 2.91	0.53 (4) 0.4 – 0.99	1.4 (4) 0.61 – 2.65	6.27 (4) 0.55 – 17.92	1.08 (3) 0.13 – 1.26	NA
	Paper (5)	NA	17.20 (3) 15.61 – 18.81	24.97 (3) 17.2 – 25.40	1 (5) 1 – 1.6	0.29 (4) 0.26 – 1.4	1.77 (4) 0.22 – 6.2	1.35 (3) 0.92 – 1.5	0.4 (3) 0.38 – 0.77	0.12 (3) 0.06 – 1
Urban waste + agricultural waste	Food (31)	7.10 (19) 6.55 – 7.8	15.00 (27) 10.23 – 33.13	28.00 (29) 13.93 – 34.03	1.54 (27) 0.94 – 2.89	0.79 (22) 0.24 – 3.39	1.28 (22) 0.75 – 3.5	2.86 (13) 0.99 – 28.04	0.21 (5) 0.15 – 1.96	0.25 (4) 0.18 – 1.23
	Various mix (25)	6.9 (15) 6.4 – 7.28	20.94 (18) 11.65 – 31.84	25.19 (22) 18.53 – 39.47	1.2 (18) 0.76 – 2.05	1.28 (11) 0.28 – 2.63	1.65 (9) 0.98 – 2.88	0.89 (10) 0.03 – 7.46	0.7 (8) 0.52 – 0.82	0.22 (9) 0.11 – 7.94
	Green waste (20)	6.92 (19) 6.55 – 8.23	15.91 (20) 9.52 – 41.9	27.47 (20) 19.30 – 76.74	1.84 (20) 0.78 – 2.86	0.86 (9) 0.56 – 1.14	0.03 (59) 0.02 – 2.96	0.02 (5) 0.01 – 10.98	NA	7.32 (5) 6.01 – 7.64

Tableau 7 : Qualité agronomique de vermicompost issu des biodéchets. Les valeurs en gras représentent les médianes, celles entre parenthèses le nombre de fois où le facteur a été mesuré et les valeurs en dessous les valeurs minimum et maximum pour le facteur correspondant.

Concernant les éléments traces métalliques, la norme européenne NF U44-051 fixe les seuils d'As à 18, Cd à 3, Cr à 120, Cu à 300, Hg à 2, Ni à 5,55, Pb à 180 et Se à 12 mg kg⁻¹. Les teneurs en cuivre et en chrome sont toujours inférieures à la norme et seuls le cadmium, le nickel et le plomb sont parfois retrouvés au-dessus du seuil (Tableau 8). Cependant, ces éléments traces ne sont supérieurs à la norme européenne que pour le mélange de déchets agricoles et les divers mélanges. Les mélanges divers sont généralement des biodéchets d'origine ménagère dans lesquels la matière organique a été grossièrement triée, ce qui peut être à l'origine du niveau élevé d'éléments traces dans cette catégorie. En effet, lors d'un mauvais tri des déchets, les biodéchets

peuvent contenir d'autres types de déchets plus riches en contaminants (produits non biologiques, plastiques, verre etc...). Globalement, les vermicomposts semblent être conformes aux normes concernant les oligo-éléments.

		Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)
Urban waste mix	Food (22)	42.53 (8) 6.57 – 137	13 025 (6) 4 082 – 23 264	449.05 (6) 297.1 – 680	172 (9) 54.09 – 727.3	0.3 (3) 0.2 – 0.7	17 (3) 5.9 – 47	15.9 (3) 5.2 – 39	NA
	Various mix (17)	NA	14 000 (3) 1 603 – 18 600	2 000 (3) 1 043 – 3 200	212.76 (3) 101.2 – 236.7	NA	NA	NA	NA
	Food + paper (11)	NA	NA	NA	137.5 (3) 42.87 – 158.2	NA	NA	NA	NA
	Green waste (7)	10.3 (4) 29.49 – 216	4 036 (3) 3900 – 4983	241 (3) 99.8 – 610.3	278.4 (4) 189.12 – 489.9	NA	NA	NA	NA
	Paper (5)	NA	17 811 (3) 9 000 – 23 375	447 (3) 300 – 626	240 (3) 127 – 357	NA	NA	NA	NA
Urban waste + agricultural waste	Food (31)	6.58 (5) 0.001 – 145	3 421 (6) 3 124 – 17 700	NA	66.92 (6) 25.28 – 254	NA	NA	NA	NA
	Various mix (25)	40.21 (9) 28.3 – 52.2	3 502 (7) 1 518 – 37 100	891.3 (7) 477.2 – 4 800	203 (11) 163.3 – 250	0.55 (10) 0 – 59.63	2.24 (9) 0.54 – 30.8	64.6 (9) 12.47 – 280.2	926.4 (5) 0 – 941.8
	Green waste (20)	74.2 (4) 28.9 – 148.3	8 600 (4) 2 400 – 19 000	1 348.6 (4) 88.6 – 3 000	283.5 (4) 99.21 – 365.5	0.2 (4) 0 – 1.18	NA	NA	0 (5) 0 - 0

Tableau 8 : Qualité environnementale du vermicompost issu des biodéchets. Les valeurs en gras représentent les médianes, celles entre parenthèses le nombre de fois où le facteur a été mesuré et les valeurs en dessous les valeurs minimum et maximum pour le facteur correspondant.

Les vermicomposts issus de biodéchets ont été comparés au compost " classique " issu du procédé thermophile. Seuls 12 articles sur les 96 servant au tableau 7, ont permis une telle comparaison (à partir du même mélange de déchets). La figure 16 illustre la différence des paramètres agronomiques entre le vermicompost et le compost issu des mêmes biodéchets. Les valeurs des moyennes représentent la différence entre les deux produits ; par exemple, dans la figure 16, le C/N du vermicompost est en moyenne de 0,45 inférieur à celui du compost. Il n'y a pas de différence significative entre la qualité du compost et celle du vermicompost issu de biodéchets seul (les intervalles de confiance ont toujours franchi le point 0). Cependant, nous avons observé une tendance à ce que les vermicomposts aient une teneur plus faible en C/N et en carbone organique et des valeurs plus élevées en N, P et K que les composts. Le vermicompost issu d'un mélange de biodéchets et de déchets agricoles présente un C/N et une teneur en carbone significativement plus faibles que le compost et une tendance à avoir un Ntot plus élevé (Figure 17). Malgré le faible nombre de répétitions, les avantages du vermicompost semblent plus évidents lorsqu'il est issu d'un mélange avec déchets agricoles que seulement de biodéchets, ce qui est probablement dû à la plus grande variabilité des biodéchets entrants. Les vermicomposts sont donc des produits riches en éléments fertilisants, mais avec tout de même une bonne teneur en matière organique. **Cela pose la question de son utilisation comme amendement ou engrais en agriculture. En effet, un taux élevé d'éléments fertilisants nécessite une gestion rigoureuse du dosage à l'hectare afin d'éviter la pollution des nappes phréatiques**

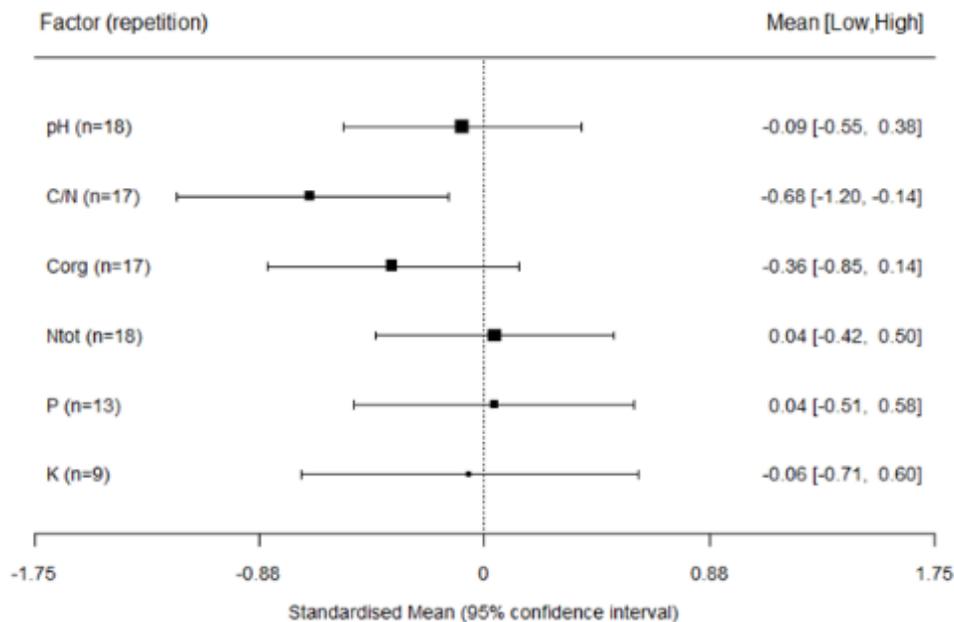


Figure 16 : Différence de qualité entre vermicompost et compost (VC-C) dans la catégorie des seules biodéchets urbains

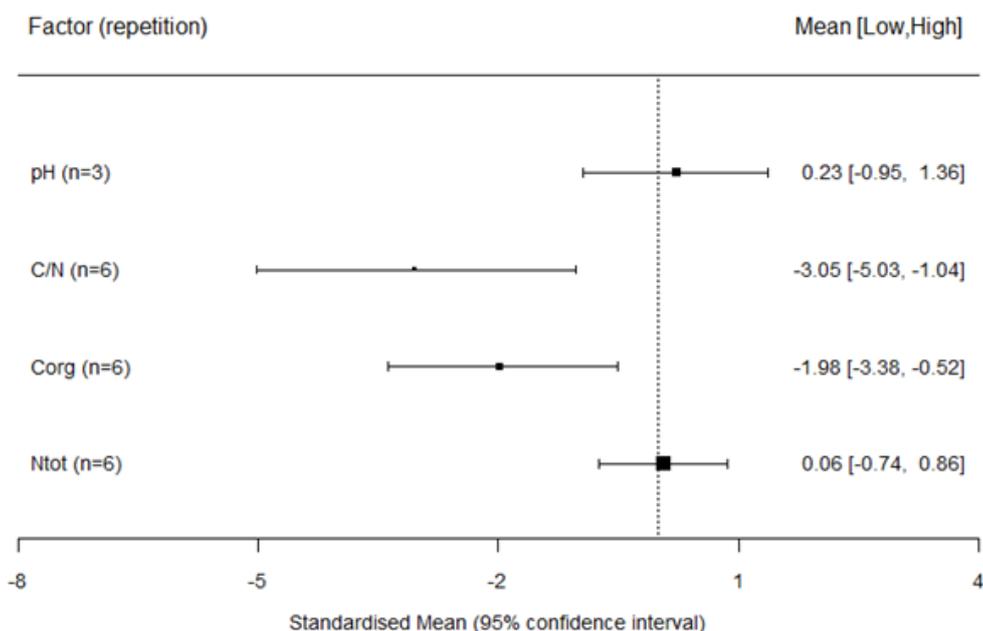


Figure 17 : Différence de qualité entre vermicompost et compost (VC-C) dans la catégorie des biodéchets urbains associés à des déchets agricoles

3.2.2.2. Qualités agronomique et sanitaire du vermicompost et compost : données issues d'analyses

Dans cette partie, nous donnons quelques résultats des analyses de vermicompost de biodéchets issus de collecte en bac pied d'immeuble, de composts de biodéchets et de digestat issus de méthanisation de biodéchets, tous provenant de la métropole de Lyon. Ces produits ont été épandus sur nos sites d'essai (Cf Lot 3). De nombreuses analyses ont été effectuées (agronomiques, sanitaire, qualité de la MO via ISMO, microscope électronique à transmission, Rock-Eval...). Globalement tous les produits sont à la norme NFU 44-051 (agronomique, pathogènes et éléments traces métalliques). L'ensemble des résultats est en cours de publication. Dans ce présent rapport nous allons juste présenter les résultats agronomiques : analyses chimiques et ISMO. La figure 18 illustre l'analyse multivariée des résultats chimiques pour les trois produits : on observe que ces trois produits sont très différents les uns des autres. Ce qui est étonnant concernant le compost et vermicompost, assez proche dans la bibliographie. Ils sont tous les trois riches en azote : digestat 6.5%, compost 3.98% et vermicompost 2.13% sur produits secs.

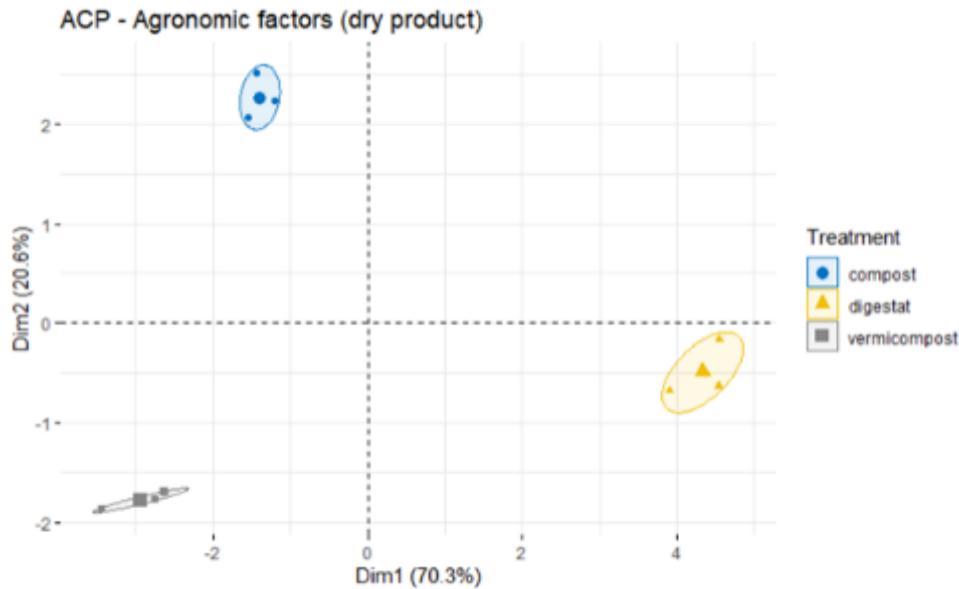


Figure 18 : Analyse en composante principale des caractéristiques chimiques (Matière sèche, pH, Ntot, N-NH4, N-NO3, Norg, MO, Corg, C/N, MO/N, P, K, Ca, Mg) du compost, digestat et vermicompost épandus dans les essais du lot 3 en octobre 2020.

Pour l'analyse de la qualité des matières organiques avec l'ISMO, on observe que le vermicompost et le compost sont relativement proches, et rejoignent les analyses sur la matière minérale (Figure 19). Cela confirme l'idée que le compost et le vermicompost issus de biodéchets sont très différents de ceux issus de fumiers. Ils semblent plus proches d'un engrais que d'un amendement organique. Cela est particulièrement vrai pour le vermicompost qui possède une grande quantité de matières minérales qui s'élève jusqu'à 25% du produit brut (digestat en moyenne à 2.5% contre 15% pour le compost).

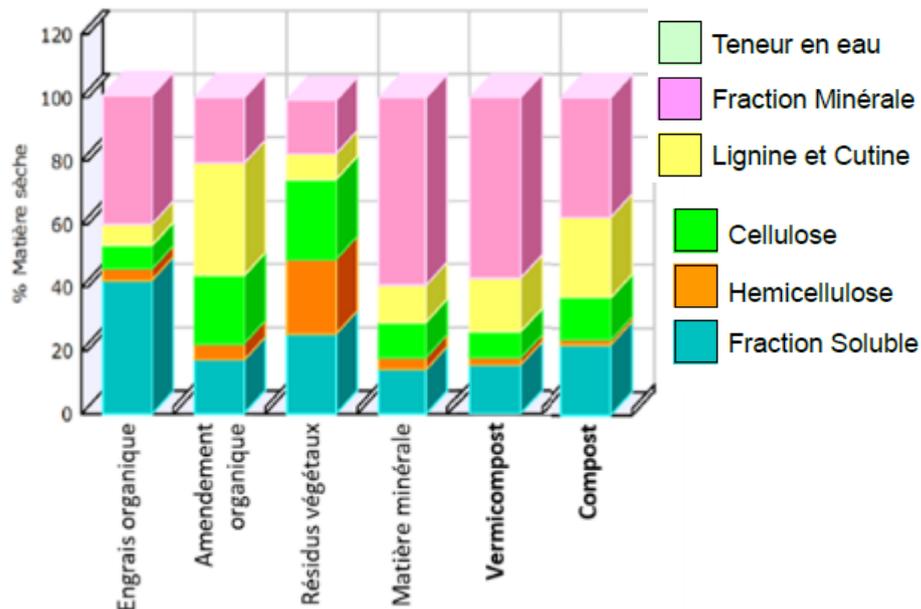


Figure 19 : résultats du fractionnement biochimiques du vermicompost et compost issus de biodéchets (épandus sur les essais du lot 3), comparaison avec des références d'autres amendements et engrais

Conclusion

Les vermicompost, compost et digestat issus de biodéchets sont trois produits différents :

Le compost semble avoir un taux de lignine plus important que le vermicompost, et par là-même une activité lignolytique plus importante. Il présente la valeur amendant à moyen/long terme la plus importante,

Le vermicompost est plus riche que le compost en matières organiques plus disponibles, à condition également que le taux d'humidité du produit n'entrave pas la libération du C des agrégats.

Le digestat serait le produit fertilisant le plus performant en raison de la richesse de ces matières organiques biodisponibles, en particulier dans la phase aqueuse.

Suite à l'ensemble des analyses qui seront effectuées ce printemps, nous allons produire un référentiel de qualité des vermicomposts, **livrable L 2.2.1**, ainsi que deux articles scientifiques : un en cours de révision sur une analyse des données de la littérature scientifique et un autre, en cours d'écriture, sur la comparaison de la qualité agronomique et sanitaire des trois produits épandus sur nos sites d'essai.

3.3. Lot 3 'Evaluation agroécologique du vermicompost'

Les deux sites d'essai ont été mis en place : à Saint Joseph en mars 2020 et à Genay en octobre 2020, avant le démarrage du projet VALOR. Pour rappel sur le site de Saint Joseph, nous avons mis 15 t/ha de compost et vermicompost (et un témoin sans apport), pratique des agriculteurs en général, cet apport sera le seul de l'essai.

Sur le site de Genay nous avons revu la méthodologie : nous avons amené les trois produits sur une base d'équivalent azote, soit 60 unité de N/ha par produit (vermicompost, compost et digestat), 120 unités par produit (seulement compost et vermicompost) et un témoin. Les produits ont été épanchés avant un orge d'hiver, les doses ont été choisies suivant les pratiques des agriculteurs en AB, avec une dose basse (60) et une haute (120) en octobre 2020, et de nouveau en octobre 2021 avant un blé d'hiver (ajustement des doses basse à 80 kg de N/ha et haute à 160 kg de N/ha). Entre l'orge et le blé, une culture de sarrasin a été implantée comme culture dérobée (donc normalement récoltée). Tous les produits amenés ont été analysés et caractérisés (Cf lot 2) préalablement par rapport aux normes en vigueur.

3.3.1. Tâche 3.1 Essai agronomique 'Le vermicompost comme amendement ou fertilisant en AB'

3.3.1.1. Analyse sur le site de Saint Joseph

Rotation : blé-pois/féverole (2020) – maïs (2021)

L'apport de 15 tonnes par hectare de compost et de vermicompost, effectué en cours de culture en février 2020, à amener un déséquilibre en nutriment et notamment en azote ce qui rend les résultats du site entre traitement difficilement comparable :

	Vermicompost	Compost
Quantité apportée de C en t par ha (sur produit brut)	1.57	2.5
Quantité apportée de N en kg par ha (sur produit brut)	131.7	223.95

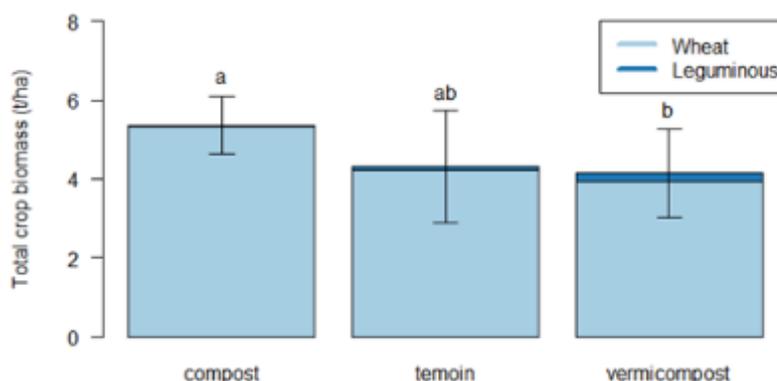


Figure 20 : Rendement en biomasse totale (t/ha) du mélange à récolte : blé (95%) et légumineuses (pois fourrager + féverole 5%) - site de Saint Joseph 2020

Malgré une très forte quantité d'azote apporté par le compost (224 kg/ha) et une forte quantité par le vermicompost (131 kg/ha), les rendements en biomasses totales ne sont pas significativement différents au témoin (Figure 20). Cependant la biomasse du vermicompost est inférieure à celle du compost.

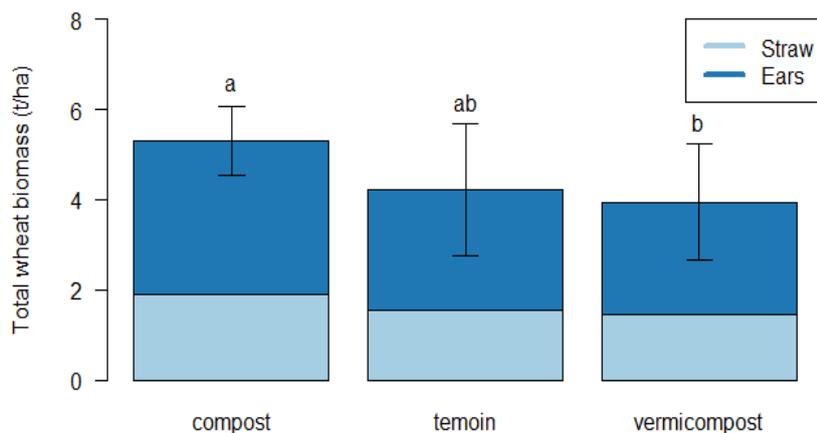


Figure 21 : Rendement en biomasse totale (t/ha) du blé (bleu foncé grains, bleu clair paille) - site de Saint Joseph 2020

Sur le blé la tendance précédemment observé se confirme cependant si nous analysons seulement la biomasse des grains le compost a eu un rendement supérieur, avec 3.4 t/ha pour le compost comparé à 2.7 pour le témoin et 2.5 pour le vermicompost (Figure 21). Nous n'observons pas de différences biomasses adventices entre traitements, mais plus d'adventices (abondance) dans le vermicompost que le compost (anova, $p=0,047$). Les résultats de 2021 pour le maïs sont en cours de traitement. Comme attendu le compost a augmenté le rendement en grain du blé (fort taux d'azote). Le vermicompost, bien que deux fois moins riche en azote que le compost, n'a pas augmenté le rendement. Le sol de Saint Joseph étant peu profond (30cm) et très sableux, il se peut que les produits aient été en parties lessivés. Il se peut également que les produits aient été incorporé trop tard (culture déjà en place en février). **Cette expérimentation nous a conduit à revoir l'essai de Genay sur deux points : les produits sont épandus juste avant le semis et à partir d'une base azoté identique pour pouvoir comparer les rendements entre les différents traitements.**

3.3.1.2. Analyse sur le site de Genay

Rotation : orge (2020 – sarrasin (en dérobée) – blé (2021)

Comme mentionné en introduction de cette section, il y a 6 modalités sur cet essai : vermicompost (60 N/ha 2020-80 N/ha 2021), vermicompost (120 N/ha 2020-160 N/ha 2021), compost (60 N/ha 2020-80 N/ha 2021), compost (120 N/ha 2020-160 N/ha 2021), digestat (60 N/ha 2020-80 N/ha 2021), et témoin (sans apport de N).

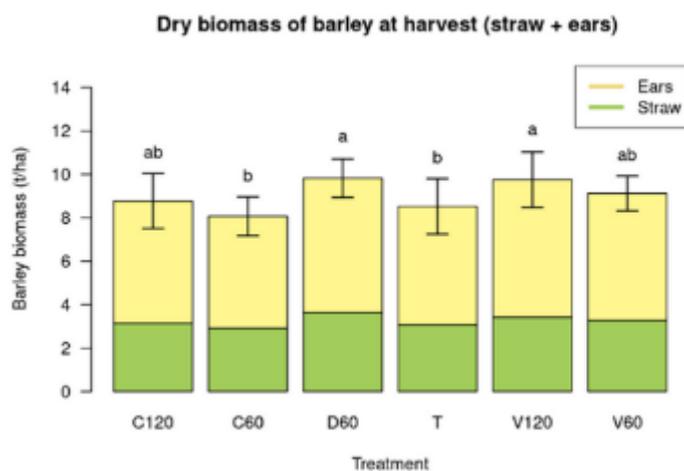


Figure 22 : Rendement en biomasse totale (t/ha) de l'orge (jaune grains, vert paille) – site de Genay 2020

En 2020, la biomasse de l'orge à récolte est plus importante pour le digestat (60 kg de N/ha) et le vermicompost (120kg de N/ha) comparés au compost (60 kg de N/ha) et le témoin (sans apport) (Figure 22). Il est difficile de conclure sur les effets des produits, sauf pour le digestat qui montre une très bonne performance agronomique, ce qui confirmerait les analyses du lot 2. Le digestat est plus fertilisant que les deux autres produits. Les résultats sur sarrasin sont en traitement, et le blé en cours de culture.

3.3.2. Tâche 3.2 Essai agroécologique ‘Evaluation des services écosystémiques des sols recevant du vermicompost’

Cette tâche se concentre sur le site de Genay. Pour le moment nous avons analysé une partie des **paramètres bio-physico-chimiques du sol, et ceux un an après apport en automne 2021 avant deuxième apport. Les analyses se poursuivent (sortie hiver et automne 2022). L'évaluation de ces données en services attendus rendus par les sols se fera une fois que l'ensemble des analyses auront été effectuées.**

Sur la figure 23, nous avons fait une analyse multivariée avec comme variables : pH, Corg, Ntot, C/N, Kech, Caech, Mgech, et Ptot.. Les résultats montrent que le traitement vermicompost à 120 unités de N/ha (V120) se détache du digestat (D60), du compost à 60 unités de N/ha (C60) et du témoin (T).

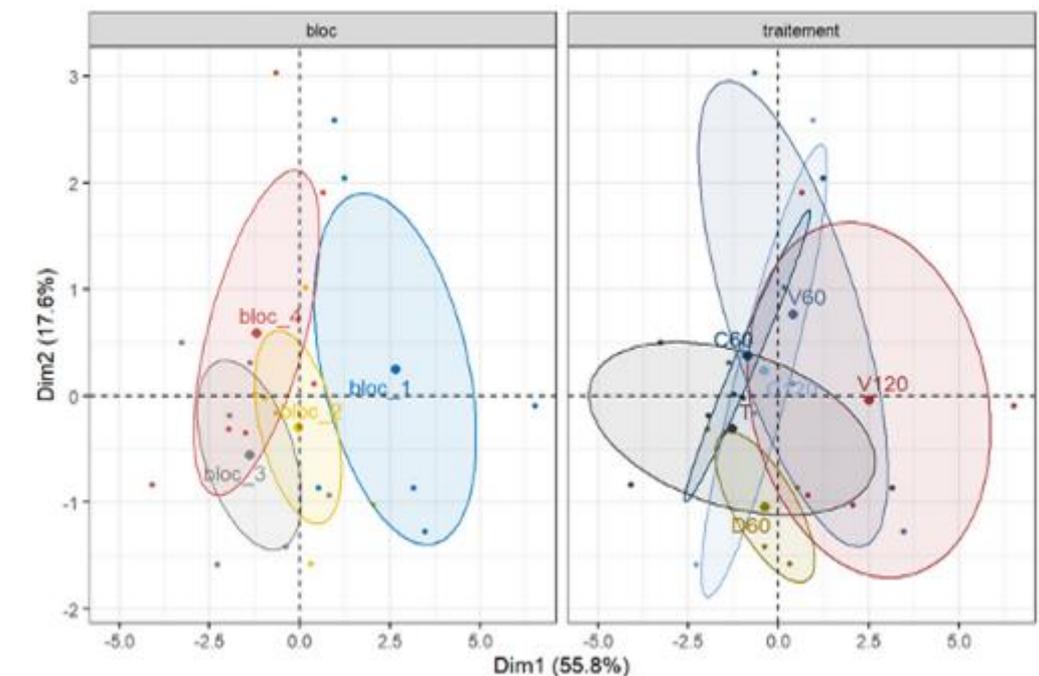


Figure 23 : Analyse en composantes principales des données physico-chimiques du sol après un d'épandage des 5 modalités et du témoin – site de Genay 2021

Dans le détail, on observe plus de Ca échangeable et pH légèrement plus élevé pour V120 (Figure 24), comparé au témoin et à D60. Nous observons une tendance à plus de C organique (et donc la teneur en MO) pour V120 comparé à C60 et au témoin (anova, $p=0,08$), et aucune différence pour les ETM (Cd, Cr, Hg, Ni, Pb).

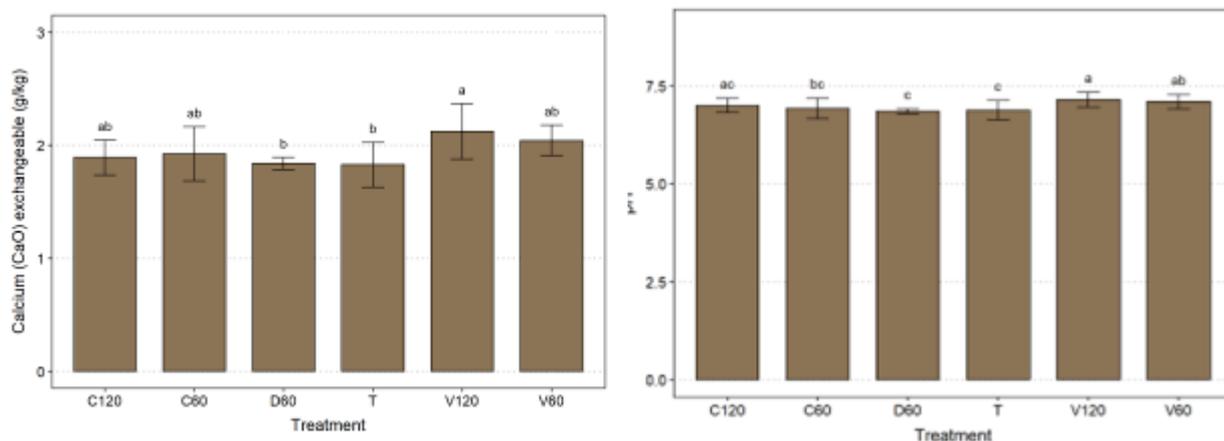


Figure 24 : Effet des 5 modalités testées et du témoin sur le Ca échangeable en g/kg et le pH du sol après un an d'épandage – site de Genay 2021

Pour les analyses biologiques, seules les résultats sur les populations de vers de terre sont disponibles actuellement après un an d'épandage. La figure 25 présente les résultats de biomasse (en g/m²), les tendances en abondance sont les mêmes. Ainsi, un an après épandage, nous ne mesurons pas de différence significative entre modalités pour la biomasse totale, mais nous observons une tendance avec comme ordre de grandeur : D60 > V120 > V60 > C120 et T ≈ C60. Toutefois, quand on regarde la biomasse d'adultes, nous mesurons une différence entre V120 (forte biomasse) et le témoin (faible biomasse) (anova, p=0,052). Au vu de ces résultats, des conclusions intermédiaires sont : (1) l'apport de digestat augmente la biomasse lombricienne, mais essentiellement des juvéniles, (2) le vermicompost permet de stimuler une population adulte sur du long terme et (3) le compost a peu d'effet sur la biomasse totale.

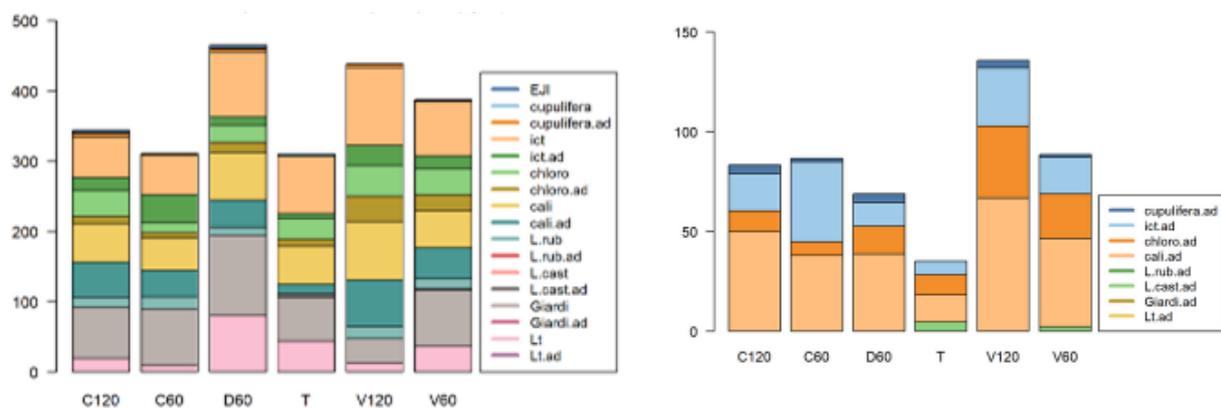


Figure 25 : Effet des 5 modalités testées et du témoin sur la biomasse vers de terre totale (en g/m²) et la biomasse des adultes (en g/m²) après un an d'épandage – site de Genay 2021

En termes de fertilité physique, pour le moment nous n'observons pas de différence significative en termes de densité apparente entre modalités. De nombreuses analyses sont en cours, ou vont être réalisées sortie d'hiver (mars 2022) et à l'automne (2022 après deux ans d'épandage) pour confirmer (ou pas) les résultats préliminaires, et évaluer sur deux ans les effets de ces trois produits. Ainsi, nous disposerons de : (1) d'analyse d'azote minéral dans le sol (0-30 ; 30-60 ; 60-90 cm) et la plante (paille et grains), (2) des populations de vers de terre supplémentaires et de collemboles (stage de fin d'étude qui démarre en mars 2022), (3) des mesures physiques (tomographie, rétention en eau), et (4) des mesures de microbiologie (activités enzymatiques).

Conclusion

Les premiers résultats du lot 2 montrent que les trois produits (vermicompost, compost et digestat) issus de biodéchets sont assez différents d'un point de vue chimique. Nous retrouvons cette différence à travers leurs effets au champ, avec des effets différents suivant les produits : le digestat même à une dose de 60 N/ha tend à améliorer les rendements, le vermicompost lui modifie plus les composantes de fertilité du sol. Toutefois, ces résultats sont issus d'un an d'expérimentation, et donc doivent être affinés avec les données que nous collectons actuellement.

Suite au recueil de ces données, nous évaluerons différents services rendus par les sols : la régulation du cycle du C (analyse physico chimique, et fractionnement de la MO), la conservation de la biodiversité du sol (bactérie et microflore, méso et macrofaune), la maintenance de la structure du sol (tomographie, densité apparente) et la rétention en eau des sols (humidité caractéristique). Au démarrage, nous avons prévu de rédiger un livrable L 3.2.1 'Rédaction article et référentiel sur l'effet du vermicompost sur différents services écosystémiques' dès ce printemps 2022. Toutefois, le décalage de l'essai en automne 2021 (au lieu de mars 2020), nous conduit à écrire cette publication en hiver 2022 (Mois 24 au lieu de mois 17).

3.4. Lot 4 'Evaluation socioéconomique des filières de vermicompostage sur le territoire modèle'

Le lot 4 est en étroite interaction avec le lot 2 tâche 2.2 sur la cartographie des flux et des acteurs. Ainsi, l'analyse des acteurs a été réalisé en lot 2 mais a été mobilisé aussi en lot 4. Dans ce lot, nous avons principalement avancé sur les modèles et cadres d'analyse de filières de vermicompostage que nous allons étudier (**Tâche 4.1 Analyse territoriale des filières de vermicompostage collectif**). Ainsi, suite à des revues de la littérature, des entretiens préliminaires d'acteurs du vermicompostage et compostage, des discussions dans le groupe projet (sous la forme d'atelier), nous avons défini des modèles

de filières de vermicompostage comme illustré dans le tableau 9. Nous avons ainsi défini des modes de fonctionnement des filières que nous appellerons ici modèles suivant : (1) les producteurs de biodéchets, (2) les produits entrants, (3) le transport des biodéchets, soit surplace, à pied ou par une collecte (véhiculée), (4) le traitement des biodéchets tels que définis dans le lot 2 (en vermicomposteur VC individuel (hors cadre de l'étude), collectif en pied d'immeuble, ou sur plateforme (urbaine ou agricole), (5) le transport des vermicomposts vers le lieu de stockage, (6) le type de stockage avant la vente/épandage soit sur place soit sur des plateformes de stockage, et enfin (6) l'épandage (vente) du vermicompost qui peut se faire sur place (à proximité du stockage) ou dans les champs via la vente de big bag ou vrac.

Le tableau 9 constitue tous les modèles possibles de vermicompostage à l'échelle de la métropole de Lyon.

<u>Producteurs de biodéchets</u>	<u>Produits entrants</u>	<u>Transport des biodéchets</u>	<u>Traitement des biodéchets</u>	<u>Transport du vermicompost</u>	<u>Stockage du vermicompost</u>	<u>Epandage du vermicompost</u>
Ménage	Cartons Marrons Biodéchets végétales Déchets verts	Surplace	VC individuel	Surplace (ind)	Surplace	Surplace
		A pied	VC collectif	Surplace (copro)	Surplace	Surplace
				Collecte	Plateforme urbaine	Big Bag, vrac
		Collecte	Plateforme urbaine	Surplace	Surplace	Big Bag, vrac
Professionnels	Cartons Marrons Biodéchets végétales Pre compost des produits carnés	A pied	VC collectif	Collecte	Plateforme urbaine	Big Bag, vrac
					Plateforme agricole	Big Bag, vrac
		Collecte	Plateforme urbaine	Surplace	Surplace	Big Bag, vrac
			Plateforme agricole	Surplace	Surplace	Big Bag, vrac
Marchés	Cartons Marrons Biodéchets végétales	A pied	VC collectif	Surplace	Surplace	surplace
					Collecte	Plateforme urbaine
		Collecte	Plateforme urbaine	Surplace	Surplace	Big Bag, vrac
			Plateforme agricole	Surplace	Surplace	Big Bag, vrac
Agriculteurs	Résidus de culture Fumier	Tracteur	Plateforme agricole	Surplace	Surplace	Big Bag, vrac
Paysagiste, collectivité	Déchets verts	A pied	VC collectif	Surplace (copro)	Surplace	Surplace
				Collecte	Plateforme urbaine	Big Bag, vrac
		Collecte	Plateforme urbaine	Surplace	Surplace	Big Bag, vrac
			Plateforme agricole	Surplace	Surplace	Big Bag, vrac

Tableau 9 : les différents modèles possibles et existants de modes de fonctionnements de vermicompostage de biodéchets

De ces modèles, nous en avons exclu les producteurs agriculteurs et paysagiste car nous nous concentrons sur les biodéchets. De même nous avons exclu le modèle de vermicomposteur individuel car hors cadre de notre étude aussi (faible volume, pas d'organisation spécifique). Ensuite, nous avons typé ces modèles avec des fonctionnements proches basés principalement par le mode de traitement, soit vermicomposteur collectif soit plateformes, et pour le vermicomposteur collectif soit un stockage et utilisation surplace (pied d'immeuble), soit une collecte du vermicompost des bacs pour stockage sur des plateformes et épandage des vermicompost à l'extérieur de la ville. Cela donne trois grands modèles : VC surplace en noir, VC collecte en rouge et Plateforme en violet (Tableau 10). Ces trois types de modèles peuvent être mis en œuvre dans une commune, de façon

complémentaire afin de traiter les biodéchets. Nous souhaitons donc les analyser dans le lot 4. Pour cela nous avons recensé les données/expérimentations disponibles (Tableau 10).

<u>Producteurs de biodéchets</u>	<u>Transport des biodéchets</u>	<u>Traitement des biodéchets</u>	<u>Transport du vermicompost</u>	<u>Stockage du vermicompost</u>	<u>Epanchage du vermicompost</u>	<u>Données/expérimentations disponibles</u>
Ménage	A pied	VC collectif	Surplace (copro)	Surplace	Surplace	Données : Lyon 1, Eisenia
			Collecte	Plateforme urbaine	Big Bag, vrac	En expé : Lyon 1 Eisenia
				Plateforme agricole	Big Bag, vrac	
	Collecte	Plateforme urbaine	Surplace	Surplace	Big Bag, vrac	Aucune pour le vermicompost, mais en expé pour compost (métropole de Lyon sur Lyon 7)
Professionnels	A pied	VC collectif	Collecte	Plateforme urbaine	Big Bag, vrac	En stand-by (COVID) pas assez de matière
				Plateforme agricole	Big Bag, vrac	
	Collecte	Plateforme urbaine	Surplace	Surplace	Big Bag, vrac	Données : société Terrestris
			Plateforme agricole	Surplace	Surplace	Big Bag, vrac
Marchés	A pied	VC collectif	Surplace	Surplace	surplace	Données : Givors, Eisenia
			Collecte	Plateforme urbaine	Big Bag, vrac	En expé : Lyon 8, Eisenia
				Plateforme agricole	Big Bag, vrac	
	Collecte	Plateforme urbaine	Surplace	Surplace	Big Bag, vrac	Non prévu pour le moment
			Plateforme agricole	Surplace	Surplace	Big Bag, vrac

Tableau 10 : les modèles de vermicompostage de biodéchets retenus pour être analysé dans le lot 4, trois types sont distingués : vermicomposteur collectif et usage sur place (en noir), composteur collectif et collecte du vermicompost vers des plateformes de traitement (en violet), collecte des biodéchets et vermicompostage sur plateforme (en rouge).

Suite à ce travail, nous allons réaliser des analyses économiques, sociales et environnementales des filières (tâche 4.2) où des données ou expérimentations sont disponibles. Ainsi, pour le modèle avec collecte des biodéchets pour traitement sur plateforme urbaine, nous allons mobiliser les données sur le compostage initié par la métropole. De même pour les modèles de vermicomposteurs collectifs en pied d'immeuble, une comparaison avec le compostage collectif, est prévue. Nous allons aussi mobiliser une approche métabolique (Figure 26), en partant d'une assiette, pour suivre les biodéchets suivant des modèles de traitement (modèles de vermicompostage mais aussi compostage collectif). Différents indicateurs sont mobilisés pour tracer les biodéchets et leurs impacts suivant le mode de traitement.

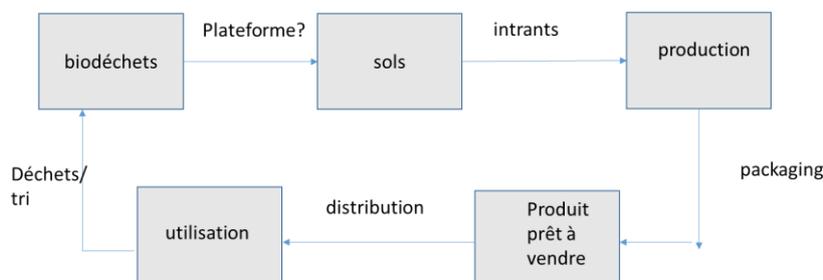


Figure 26 : vision métabolique : partir du contenu d'une assiette et tracer les biodéchets en fonction de leur réutilisation

Ces travaux vont être réalisés lors d'un stage de fin d'étude niveau master 2 (démarrage mars 2022), et par un chargé d'étude (CDD) recruté par l'EVS (mars 2022). Les livrables de ce lot sont prévus pour fin 2022, suivant l'avancée des travaux nous prévoyons plutôt un rendu vers mars 2023. Cela sera discuté en comité de pilotage et avec l'ADEME.

3.5. Lot 5 'Déploiement potentiel de filière de vermicompostage collectif dans d'autres territoires'

Comme évoqué en matériel méthode, le contexte a changé depuis le démarrage du projet. Les communes accélèrent le déploiement de filières de traitement des biodéchets, et semblent s'orienter des filières connues telles que le compostage et la méthanisation. Ainsi, nous gardons la ville de Givors, et nous l'avons même inclus dans le lot 4 car nous sommes au-delà du déploiement.

Ainsi pour ce lot, nous avons modifié le choix des communes, et nous allons plutôt cibler des communes déjà engagées dans le compostage, mais étant ouverte à mettre en place des expérimentations en parallèle sur le vermicompostage. Nous allons publier une brochure présentant l'expérimentation et Eisenia va contacter les communes qui étaient potentiellement intéressées par le vermicompostage (par exemple Annemasse).

D'ici mai 2022 nous allons produire le livrable L 5.1.1, soit le cadre d'analyse du déploiement, issu des travaux initiés en lot 2 et 4, pour évaluer les freins et leviers à la mise en place des modèles de vermicompostage dans une commune. Nous nous appuyons dessus pour évaluer les expérimentations (si nous en trouvons !) dans d'autres communes françaises.

4. Perspectives pour 2022 et 2023 : calendrier prévisionnel

De nombreux travaux restent à finaliser, dans les deux ans à venir. Dans ce rapport, nous avons évoqué des réalisations, des reports possibles et à venir des livrables du projet. Ainsi, nous proposons un calendrier prévisionnel mis à jour jusqu'à la fin du projet. Les activités non finalisées à date prévue sont en *italiques*, les activités en **rouge et gras** sont réalisées et livrées, les activités **en noir et gras** sont celles prévues.

Mois	Lot 1			Lot 2		Lot 3		Lot 4			Lot 5		
	Coordonner	Animer	Valoriser	Filières	Vermicomposts	AGRO	SOL	Acteurs	Economie	Externalités territoriales	Modèles de déploiement	Freins et leviers	Replicabilité
1	CoS	R, L1.2.1		B		Suiv	Suiv	B					
2	CoP	R, L1.2.2											
3	CoS, L1.1.1	R, L1.2.1	L1.3.1	doc, enq	B			doc					
4		R				Suiv							
5		R		redac	doc		Suiv		B				
6		R, V		L2.1.1									
7	CoP	R, L1.2.2	L1.3.2		CaB				Enq, J5	B	J6		
8		R				Suiv							
9		R, V						Enq	redac				
10	CoS	R, L1.2.3		redac	CaV	Suiv				mod		B	
11								acteurs, J5					
12		R		synth, J2	synth, J3		Suiv, An, J4				AP		
13		R											
14	CoP, CoS	R, L1.2.3	L1.3.2								mod	mod	mod
15	L1.1.2	R	L1.3.1										
16	L1.1.1	R	J1			Suiv							
17		R									L5.1.1	AP	
18		R		L2.1.2									
19	CoP	R, L1.2.4		L2.1.3				Enq	Enq	Enq			
20		R				Suiv							
21		R										Enq	Enq
22		R	L1.3.3, L1.3.4										
23		R		L2.2.1									
24		R				Suiv, An							
25		R	L1.3.5				L3.2.1						
26	CoS, CoP	R, L1.2.5	L1.3.6					synth	synth	synth		redac	redac
27	L1.1.3	R											
28		R										L5.2.1	
29		R						L4.1.1	L4.2.1	L4.3.1			
30		R											synh
31	CoP	R L1.2.6					L3.1.1, L. 3.1.2						
32		R											
33		R											L5.3.1
34		R	L1.3.7										
35	CoS	L1.2.7	L1.3.8										
36											JE	JE	JE
37													
38	SeAd	R	L1.3.9										
39													
40	L1.1.4	R											
41													
42													

Légende : CoS: Comité de suivi ; CoP: Comité de pilotage ; R : Réunion d'équipe ; SeAd: Séminaire final Rtel: réunion téléphonique avancement; V: visite de sites équipe ; Enq: terrain, entretien ; CaB: caractérisation biodéchets ; CaV: caractérisation des vermicomposts ; Suiv: suivi des essais ; An: Analyses de données ; ; B: Bibliographie ; doc: Documentation ; redac: rédaction ; synth: synthèse; JE: journée d'étude, AP: atelier participatif ; mod : modèle de déploiement

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADEME, 2018. Suivi technique, économique et environnemental d'installations de production et d'injection de biométhane dans les réseaux de gaz naturel.
- Blouin, M. et al., 2013. A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. *Eur. J. Soil Sci.* 64, 161–182.
- Borron, C., 2020. Économie circulaire, recyclage, gestion des déchets et enjeux environnementaux.
- CGDD (Commissariat général au développement durable), 2019. Bilan 2016 de la production de déchets en France.
- Chenon, P., Thevenin, N., 2009. Projet pilote de lombricompostage en habitat urbain.
- Dominguez, J., Aira, M., Gomez-Brandon, M., 2009. Vermicomposting: Earthworms Enhance the Work of Microbes, in: *Microbes at Work*.
- Dominguez, J. et al., 2019. Changes in the composition and function of bacterial communities during vermicomposting may explain beneficial properties of vermicompost. *Sci. Rep.* 9, 9657.
- Edwards, C.A., Arancon, N.Q., Sherman, R.L., 2010. *Vermiculture Technology : Earthworms, Organic Wastes, and Environmental Management*. CRC Press.
- Grand Lyon Métropole, 2018. Rapport annuel sur le prix et la qualité du service public d'élimination des déchets 2018.
- Lim, S.L., Lee, L.H., Wu, T.Y., 2016. Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis. *J. Clean. Prod., Special Volume: Process Integration for Cleaner Production* 111, 262–278.
- Lohri, C.R. et al., 2017. Treatment technologies for urban solid biowaste to create value products: a review with focus on low- and middle-income settings. *Rev. Environ. Sci. Bio-Technol.* 16, 81–130.
- Mairie de Paris, n.d. Guide du lombricompostage collectif.
- Munroe, G., 2007. *Manual of On-Farm Vermicomposting and Vermiculture*. Org Agric Cent. Can.
- NeoEthos, 2017. Présentation des résultats de l'étude de flux de biodéchets de la métropole de Lyon pour Lyon Bio Ressources.
- Obriot, F. et al., 2016. Multi-criteria indices to evaluate the effects of repeated organic amendment applications on soil and crop quality. *Agric. Ecosyst. Environ.* 232, 165–178.
- Yadav, A., Garg, V.K., 2011. Industrial wastes and sludges management by vermicomposting. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.*

INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES

TABLEAUX

Tableau 1 : Calendrier prévisionnel du projet VALOR.....	14
Tableau 2 : les livrables du projet VALOR.....	15
Tableau 3 : les jalons du projet VALOR.....	15
Tableau 4 : Activités du projet VALOR du 2/11/2020 au 19/02/2022.....	17
Tableau 5 : Valorisation du projet VALOR du 2/11/2020 au 19/02/2022.....	18
Tableau 6 : les deux processus de vermicompostage collectif en pied d'immeuble : lent ou rapide.....	22
Tableau 7 : Qualité agronomique de vermicompost issu des biodéchets. Les valeurs en gras représentent les médianes, celles entre parenthèses le nombre de fois où le facteur a été mesuré et les valeurs en dessous les valeurs minimum et maximum pour le facteur correspondant.....	28
Tableau 8 : Qualité environnementale du vermicompost issu des biodéchets. Les valeurs en gras représentent les médianes, celles entre parenthèses le nombre de fois où le facteur a été mesuré et les valeurs en dessous les valeurs minimum et maximum pour le facteur correspondant.....	29
Tableau 9 : les différents modèles possibles et existants de modes de fonctionnements de vermicompostage de biodéchets.....	36
Tableau 10 : les modèles de vermicompostage de biodéchets retenus pour être analysé dans le lot 4, trois types sont distingués : vermicomposteur collectif et usage sur place (en noir), composteur collectif et collecte du vermicompost vers des plateformes de traitement (en violet), collecte des biodéchets et vermicompostage sur plateforme (en rouge).....	37

FIGURES

Figure 1 : Présentation graphique des filières étudiées, des lots et de l'ensemble de l'écosystème pour un territoire donné.....	9
Légende : Flèches rouges : filières étudiées ; Flèches grises : filières non étudiées ; Carrés verts : produits, ressources ; Carrés marrons : procédés ; Carrés roses : points départ acteurs.....	9
Figure 2 : Les essais misent en place dans le Lot 3.....	12
Figure 3 : les filières de traitement des biodéchets sur la métropole de Lyon.....	18
Figure 4 : Lombricomposteur collectif, 40 foyers, 2 bacs d'apports, Lyon 1 lombricomposteur pour marché alimentaire, Givors, 6 bacs d'apports, cap. 8 T par an.....	19
Figure 5 : Schéma de gestion d'un lombricomposteur "lent".....	20
Figure 6 : Schéma du processus de vermicompostage sur plateforme- contact au sol.....	21
Figure 7 : Plateforme urbaine à Ecully Plateforme agricole du Gaec du Murier – Saint Joseph.....	21
Figure 8 : exemple de calculs des apports annuels dans un vermicomposteur suivant la déclaration des usagers.....	22
Figure 9 : principaux résultats des suivis chimique et biologique de 10 vermicomposteurs collectifs (Stage 2021).....	23
Figure 10 : flux de biodéchets sur le Grand Lyon en 2020.....	24
Figure 11 : capacité de traitement des biodéchets sur le Grand Lyon en 2021.....	25
Figure 12 : les acteurs du compostage collectif sur le Grand Lyon.....	25
Figure 13 : les acteurs du vermicompostage collectif sur le Grand Lyon.....	26
Figure 14 : les principaux postes d'émission de GES lors du traitement de biodéchets.....	26
Figure 15 : Etat d'avancement des travaux sur l'évaluation des émissions de GES lors du traitement de biodéchets.....	27
Figure 16 : Différence de qualité entre vermicompost et compost (VC-C) dans la catégorie des seules biodéchets urbains ..	30
Figure 17 : Différence de qualité entre vermicompost et compost (VC-C) dans la catégorie des biodéchets urbains associés à des déchets agricoles.....	30
Figure 18 : Analyse en composante principale des caractéristiques chimiques (Matière sèche, pH, Ntot, N-NH4, N-NO3, Norg, MO, Corg, C/N, MO/N, P, K, Ca, Mg) du compost, digestat et vermicompost épandus dans les essais du lot 3 en octobre 2020.....	31
Figure 19 : résultats du fractionnement biochimiques du vermicompost et compost issus de biodéchets (épandus sur les essais du lot 3), comparaison avec des références d'autres amendements et engrais.....	31
Figure 20 : Rendement en biomasse totale (t/ha) du mélange à récolte : blé (95%) et légumineuses (pois fourrager + féverole 5%) - site de Saint Joseph 2020.....	32
Figure 21 : Rendement en biomasse totale (t/ha) du blé (bleu foncé grains, bleu clair paille) - site de Saint Joseph 2020.....	33
Figure 22 : Rendement en biomasse totale (t/ha) de l'orge (jaune grains, vert paille) – site de Genay 2020.....	33
Figure 23 : Analyse en composantes principales des données physico-chimiques du sol après un d'épandage des 5 modalités et du témoin – site de Genay 2021.....	34
Figure 24 : Effet des 5 modalités testées et du témoin sur le Ca échangeable en g/kg et le pH du sol après un an d'épandage – site de Genay 2021.....	34
Figure 25 : Effet des 5 modalités testées et du témoin sur la biomasse vers de terre totale (en g/m2) et la biomasse des adultes (en g/m2) après un an d'épandage – site de Genay 2021.....	35
Figure 26 : vision métabolique : partir du contenu d'une assiette et tracer les biodéchets en fonction de leur réutilisation.....	37

SIGLES ET ACRONYMES

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

L'ADEME EN BREF

À l'ADEME - l'Agence de la transition écologique -, nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, économie circulaire, alimentation, mobilité, qualité de l'air, adaptation au changement climatique, sols... - nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.

RAPPORT INTERMEDIAIRE DU PROJET VALOR

Le projet VALOR a pour objectif de caractériser et évaluer la faisabilité de différentes filières de vermicompostage collectif pour valoriser les biodéchets urbains afin de permettre leur retour au sol. Nous cherchons à identifier les bénéfices socioéconomiques, environnementaux et agronomiques du vermicompostage à l'échelle d'un territoire dans une logique d'économie circulaire locale, avec la métropole de Lyon comme territoire modèle puis nous analysons son déploiement à d'autres territoires (Givors).

Dans ce rapport, nous présentons les résultats intermédiaires du projet (après 15 mois sur une durée totale de 42 mois). Ces résultats portent principalement sur (1) la définition de la filière vermicompostage, la caractérisation fine des modèles existants et les flux de matière que cela représente, (2) des travaux préliminaires à l'évaluation des GES des filières de traitement de biodéchets (vermicompostage, compostage et méthanisation), (3) la caractérisation de la qualité des vermicomposts issus de bacs collectifs par rapport au compost et digestat, (4) des premiers résultats de l'application de ces trois produits aux champs, et (4) les premières étapes et redéfinitions de l'analyse socioéconomique et du déploiement des filières de vermicompostage.

