

Rapport de stage individuel

5^{ème} année

Processus et Hygiénisation des andains de composts

SARL INDRE ENVIRONNEMENT

Nault 36 500 Argy

INDRE ENVIR  NNEMENT

Tuteur entreprise :

Julien CHRISTIAENS

Gérant

Tuteur académique :

Séraphine Grellier

PARYSECK MARY

UIT - ITI

Table des matières

Tables des Figures, Tableaux et Illustrations	2
Glossaire	2
Remerciements	3
Introduction :	4
1. Présentation de la structure	5
1.1. Son histoire et localisation.....	5
1.2. Types de déchets traités et activités du centre de compostage	6
1.3. Organigramme	7
2. Qu'est-ce que le compostage ?	7
2.1. Contexte.....	7
2.2. Définitions.....	8
3. Organisation des unités de compostage	10
3.1. Horaires d'ouverture	10
3.2. Fonctionnement de l'unité de compostage :	10
3.3 Comment caractériser un compost ?	14
4. Processus et facteurs influençant	14
4.1 Processus	14
4.2 Facteurs importants et influençant le compostage aérobique	15
4.3. Un processus avec des zones d'ombres.....	16
5. Une hygiénisation possible en tous points de l'andain ?.....	17
5.1. Suivi de température	17
Méthode.....	17
Résultat :	18
Résultat général :	18
Conclusion :	19
5.2 biodiversités présentes.....	19
5.3. Une aération améliorée pour assurer l'hygiénisation	22
Conclusion :.....	24
Résumé :	25
Abstract :.....	25
Références :.....	26

Tables des Figures, Tableaux et Illustrations

<u>Figure 1</u> : Répartition spatiale des plateformes de Indre Environnement sur le territoire	5
<u>Figure 2</u> : Principales phases du compostage et processus en jeu	9
<u>Figure 3</u> : Communauté de commune du département de l'Indre	11
<u>Figure 4</u> : Session de broyage de déchets verts à la plateforme de Diors	12
<u>Figure 5</u> : Session de criblage d'un andain de DV sur la plateforme de Heugnes	13
<u>Figure 6</u> : Présence de plastique dans l'andain de refus + boues	16
<u>Figure 7</u> : Cheminée de chaleurs dans andain refus + boues à la surface (à gauche) et dans l'andain DV à l'intérieur (à droite)	19
<u>Figure 8</u> : Forficula auricularia	20
<u>Figure 9</u> : Porcellionides pruinosus	20
<u>Figure 10</u> : mouche-soldat	21
<u>Figure 11</u> : Coprinus plicatilis	21
<u>Figure 12</u> : Champignons présent dans l'andain de refus + boues	22
<u>Tableau 1</u> : Localisation des plateformes	6
<u>Tableau 2</u> : Admissibilité des matières premières par plateformes	6
<u>Tableau 3</u> : horaires ouvertures suivant les types d'usagers des plateformes	10
<u>Tableau 4</u> : Synthèse des matières premières en fonction des principaux groupes de clients	10
<u>Tableau 5</u> : Seuil minimum de température par produit pour assurer l'hygiénisation	12
<u>Tableau 6</u> : Lots d'études	17
<u>Illustration 1</u> : organigramme de Indre Environnement	7
<u>Illustration 2</u> : Schéma descriptif de la position des prises de températures	17
<u>Illustration 3</u> : Schéma prises de températures Lot H-DV-22/04	18
<u>Illustration 4</u> : Schéma prises de températures Lot V-B-23/03	18

Glossaire :

ACF : Agriculteur Composteur de France

CDC : Communauté de commune

ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement

DV : Déchets Verts

MIATES : Matières d'Intérêt Agronomiques, issues du traitement des eaux

MO : Matières Organiques

DIB : Déchet Industriel Banals

ISMO : Indice de Stabilité de la Matière Organique

ETM : Eléments Traces Métalliques

VA : Valeurs Agronomiques

MOP : Micro-organismes Pathogènes

NPK : Azote, Phosphore, Potassium

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon stage et qui m'ont aidée lors de la rédaction de ce rapport.

Tout d'abord, j'adresse mes remerciements à mon professeur, Madame Grellier de l'école Polytech Tours qui a accepté de m'encadrer pour ce stage.

Je tiens à remercier vivement mon Maître de stage, Monsieur Julien CHRISTIAENS, gérant de l'entreprise SARL Indre Environnement, pour son accueil, de m'avoir offert l'opportunité de découvrir le milieu du compostage, le temps passé ensemble et le partage de son expertise au quotidien. Par la confiance qu'il a su me donner, j'ai pu m'accomplir totalement dans mes missions.

Je remercie également toute l'équipe de Indre Environnement pour leur accueil, leur esprit d'équipe et tous ces moments de convivialité !

Enfin, je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont conseillée et relue lors de la rédaction de ce rapport de stage : ma maman, mon Maître de stage Julien CHRISTIAENS et sa femme Claire CHRISTIAENS.

Introduction :

Ce stage de fin d'étude s'est déroulé dans une entreprise familiale de compostage en développement dans le département de l'Indre (36). Elle est l'initiative d'un agriculteur qui avait la volonté d'amender naturellement ses terres et qui de ce fait est devenu son propre fournisseur en créant son amendement organique naturel. Ceci passe par la valorisation des déchets verts, des boues et des déchets alimentaires.

Il possède maintenant 3 plateformes situées à Velles, Diors et Heugnes. Ses 3 plateformes s'inscrivent dans une économie circulaire puis qu'il collabore exclusivement avec des acteurs du département : communautés de communes, paysagistes, entreprises privées en réceptionnant leurs déchets. Ce compost est commercialisé auprès d'agriculteurs locaux afin de leur proposer une alternative aux amendements chimiques vendus par les coopératives agricoles.

J'ai dû comprendre dans un premier temps les rouages et le fonctionnement du compostage qui m'étaient inconnus jusqu'alors puis j'ai participé à des missions variées qui répondaient aux attentes de mon maître de stage. Ce rapport ne présente pas une problématique en particulier de ce fait. L'attente de mon maître de stage était de pouvoir être accompagné dans le suivi du processus, de la réglementation et de la qualité du compost, c'est ce que je vais vous présenter dans ce rapport qui retrace la présentation de l'entreprise et la réalisation du compost.

Ce fut une belle opportunité et une belle découverte qui saura susciter chez moi un fort intérêt professionnel à venir.

1. Présentation de la structure

1.1. Son histoire et localisation

Depuis 2002, l'exploitation agricole de Monsieur Julien CHRISTIAENS, localisée à Heugnes, avait le besoin d'améliorer la matière organique dans les sols et était donc une grande consommatrice de compost. En 2014, cette forte nécessité a donné naissance à l'idée de produire soi-même son compost. Pour l'accompagner dans cette réflexion, Monsieur CHRISTIAENS s'est rapproché de l'association nationale Agriculteur Composteur de France (ACF).

En 2015, Monsieur CHRISTIAENS remporte son premier marché public de collecte et traitement de déchets verts de la Communauté de Commune (CDC) d'Ecueillé et démarre une production de compost au sein de sa propre ferme pour son compte. Le contrat étant inférieur à 1000T, il n'y avait pas nécessité de disposer d'une Installation classée pour la protection de l'Environnement (ICPE). En 2017, un 2^{ème} marché public de collecte et traitement de déchets verts est remporté avec la CDC du Boischaut Champagne.

Les tonnages ayant augmenté, il est devenu nécessaire d'être classé ICPE. En 2018, Monsieur CHRISTIAENS a construit une plateforme à Heugnes attenant à la ferme et a repris une plateforme de compostage déjà opérationnelle à Diors. La reprise de cette plateforme a entraîné la récupération des marchés publics liés aux déchets verts et aux bois A et B. Cette même année s'est finie avec l'acquisition d'une 3^{ème} plateforme située à Velles, déjà opérationnelle et accompagnée de nouveaux marchés liés aux traitements des boues de STEP ou industrielle. La SARL Indre Environnement a donc été créée le 18 décembre 2018 par Julien CHRISTIAENS avec l'objectif de promouvoir une activité locale. En 2019, le point de vente destiné aux particuliers est créé sur la plateforme de Velles. En 2020, un nouveau marché est conclu avec l'entreprise Bois Factory pour la production de bois énergie. En mars 2022, la plateforme d'Heugnes se spécialise avec le traitement de soupe de biodéchets produits et amenés par l'entreprise de déconditionnement AGRIDEC.



Figure 1 : Répartition spatiale des plateformes de Indre Environnement sur le territoire

Source : Google Map

Plateforme	Adresse
Diors	La Martinerie - DIORS
Velles	Les maisons neuves 36 330 VELLES
Heugnes	Lieu-dit « La Breuillerie » 36 180 HEUGNES

Tableau 1 : Localisation des plateformes

1.2. Types de déchets traités et activités du centre de compostage

Les plateformes peuvent accueillir les matières premières en fonction des rubriques ICPE dont elles disposent. Les rubriques ICPE déterminent la compétence autorisée sur la plateforme par la préfecture.

Matières premières	Diors	Velles	Heugnes
Déchets verts (DV)	x	x	x
Boues		x	
Biodéchets			x
Bois	x		
Bûches et souches	x	x	x

Tableau 2 : Admissibilité des matières premières par plateformes

L'installation de Velles a pour activités :

- Le traitement des déchets d'origine végétale (tonte, taille, élagages, feuilles)
- Fabrication de supports de cultures et d'amendement organique selon la norme NFU 44-051 pour obtenir un compost de déchets verts et NFU 44-095 pour obtenir un compost de Matières d'Intérêt Agronomique, issues du Traitement des Eaux – MIATES (boues de STEP et industrielle).
- Commercialisation auprès des particuliers des produits issus des traitements

L'installation de Diors a pour activités :

- Le traitement des déchets d'origine végétale (tonte, taille, élagages, feuilles)
- Fabrication de supports de cultures et d'amendement organique selon la norme NFU 44-051 (compost de déchets verts)
- Valorisation du bois auprès de la collecte et traitement de bois A et B
 - Le bois B (bois peint, traité, vernis, collé), il provient de panneaux, de bois d'ameublement et de démolition.
 - Le bois A (bois non traité) provient de la transformation de sous-produits du bois brut, des bois secs non traités et non peints, des palettes (dont les plots sont en bois brut), de caisses, de cagettes, de bourriches, de tambours, planches ou poutres sans peinture et d'exploitation forestière.

L'installation de Heugnes a pour activités :

- Le traitement des déchets d'origine végétale (tonte, taille, élagages, feuilles)
- Le traitements des restes alimentaires et déchets de tables
- Fabrication de supports de cultures et d'amendement organique selon la norme NFU 44-051 (compost de déchets verts et de biodéchets)

Les déchets non valorisables par les plateformes de type déchet industriel banals (DIB) dans le cadre de l'exploitation sont envoyés au centre de tri de la COVED à Châteauroux et chez le recycleur Châteauroux recyclage en vue d'être envoyés dans un centre d'enfouissement.

1.3. Organigramme

L'ensemble des employés de l'entreprise Indre Environnement et de l'exploitation appartiennent à un groupement d'employeurs nommé Optim'Agri. Ce dispositif permet à Monsieur CHRISTIAENS de répartir ses employés suivant les besoins de travail. Néanmoins des opérateurs de plateformes restent relativement fixes.

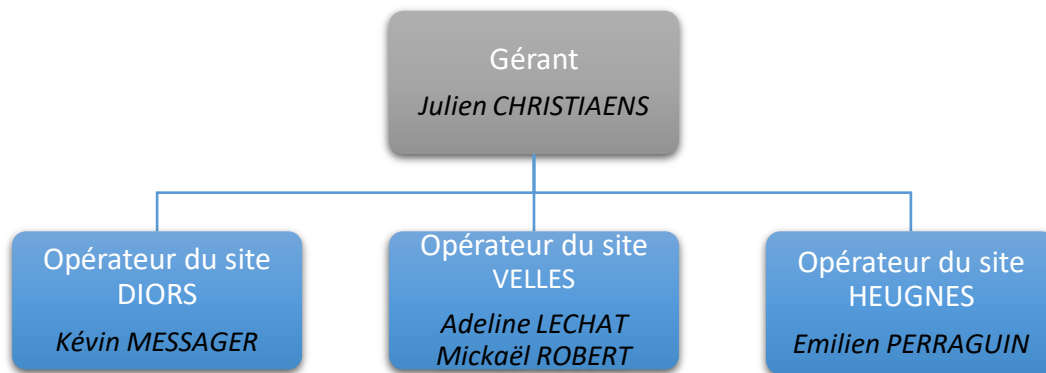


Illustration 1 : organigramme de Indre Environnement

2. Qu'est-ce que le compostage ?

2.1. Contexte

Selon les pays, on a des normes plus ou moins strictes à respecter pour la production d'un compost et garantir que sa qualité ne pose aucun problème sanitaire, toxicologique et éco toxicologique.

De nos jours le compostage peut se faire à 3 niveaux, directement dans la nature sans aucune intervention de l'Homme (décomposition naturelle), dans nos maisons et jardins de façon individuelle (compostage domestique) ou par des entreprises spécialisées qui gèrent de plus gros volumes (Compostage professionnelle).

Tout d'abord dans un écosystème naturel, les plantes produisent des résidus qui se retrouvent sur le sol (feuilles mortes, tiges, fruits pourries, branches), la décomposition de ces résidus va alors se faire progressivement pour donner de l'Humus qui va nourrir le sol et augmenter ainsi sa fertilité. Les résidus de plantes se retrouvent en contact avec tout ce que l'on peut rencontrer sur le sol : excréments, restes d'animaux, champignons. Tout cela représente la Matière Organique (M.O) riche en carbone et en azote, mais à ce niveau-là les éléments ne peuvent pas encore être assimilés par le sol. Il faut les décomposer. Pour que la décomposition se fasse le mieux possible, il faut réunir de

bonnes conditions. Juste ce qu'il faut d'humidité et d'oxygène pour permettre aux acteurs du compostage de bien travailler. Beaucoup de travailleurs sont mobilisés à différentes étapes : les bactéries, les champignons, des vers de terre et des petits insectes. Chacun jouant un rôle bien précis, aération et découpage de la matière par exemple. Une fois que chacun a bien travaillé, on obtient un mélange d'humus et de minéraux comme le magnésium et le calcium mais aussi le carbone et l'azote. Tous ces éléments vont être disponibles dans le sol pour le rendre plus fertile. Les plantes qui vont ensuite pousser sur ce sol pourront le faire dans les meilleures conditions possibles. La boucle est bouclée.

L'Homme produit actuellement énormément de déchets, composter chez soi permet de réduire considérablement leurs quantités. Il est estimé qu'une personne jette plus de 100kg de déchets compostable par an. Pour une famille de 4 personnes, on peut donc représenter logiquement un total de 400 kg sur une année. En les composant, il est évité qu'ils soient mis en décharge ou brûlés. Le point clé, c'est le tri. Aujourd'hui grâce au tri, nous savons recycler le papier, le plastique ou le verre. A partir du 1^{er} janvier 2024, chaque citoyen devra séparer les déchets compostables des autres déchets ménagers. Les éléments compostables produits par une famille sont variés : restes de cuisine, bouquets de fleurs fanés, branches, tontes de pelouse. Pour pouvoir composter tous ces éléments, on les place dans un composteur individuel ou de quartier et même pour certains à la déchetterie.

Pour assurer un bon compost, il faut assurer un bon équilibre entre les éléments marron comme les branches qui apportent le carbone et les éléments verts comme l'herbe qui apporte de l'azote. Il ne faut pas oublier que les vers de terre sont les meilleurs amis du compost puisqu'ils permettent de bien l'aérer et donc de le mettre dans les meilleures conditions pour la décomposition.

Le compostage professionnel est réalisé par des entreprises spécialisées appelées compostières ou unités de compostage. Celles-ci reçoivent les résidus des entreprises et collectivités qui en produisent en quantité plus importante, restes de cantines et les végétaux déposés en déchetterie. La principale différence avec le compostage domestique est la quantité de déchets traités, les étapes suivies pour le processus de décomposition sont les mêmes mais chacune d'elles est contrôlée suivant une réglementation précisée dans la norme AFNOR 44-051. Les techniques utilisées par ces spécialistes permettent d'obtenir un compost de bonne qualité et ne présentant pas de risque pour l'environnement et la santé. La qualité des composts est garantie par le respect des normes en vigueur. Le compost produit par une compostière est destiné à être vendu aux agriculteurs et à des particuliers.

Finalement, la décomposition naturelle, le compostage domestique et professionnel ne sont pas différents. La M.O est transformée en humus et retourne à la terre. Tous suivent les mêmes étapes de réalisation. Leur finalité est la même, pouvoir valoriser des résidus en matière capable de favoriser la fertilité sol pour une alimentation de qualité.

2.2. Définitions

Le compostage se caractérise par une décomposition des déchets organiques (composée de carbone et d'azote) en aérobie (dans un milieu aéré soit +O₂) et suffisamment humide. Les chaînes chimiques carbonées sont brisées et utilisées par les micro-organismes comme source énergétique. La réaction produite est alors : $C_6H_{10}O_5 + 6O_2 = 6CO_2 + 5H_2O$.

Autrement dit : chaleur Sucre (contenu dans la matière organique) + oxygène = gaz carbonique + eau + chaleur. La réaction chimique en cause lors du compostage provoque la libération de dioxyde de carbone et produit de l'eau et de la chaleur [Guide du compostage à la ferme, 2019].

Le compostage est caractérisé par [Guide du compostage à la ferme, 2019]:

- Une production de chaleur,

- Diminution de la masse et du volume (due à la perte de matière, d'eau et un effet de tassement), il est souvent dit que 1 Tonne de déchets verts aboutira à 400 kg de compost
- La quantité d'êtres vivants intervenant dans le compostage. (**Types d'organisme : nb/kg de compost**) :
 - Bactéries : 1 à 10 Milliards,
 - Champignons : 10 000 à 1 000 000,
 - Algues : 10 millions,
 - Protozoaires : jusqu'à 5 milliards,
 - Vers de compost : jusqu'à 1 000,
 - Autres insectes et larves : 2 000,
 - Acariens : 10 000

Pour fabriquer le compost, il faut suivre des étapes, la première étape est de suivre la variation de la température en fonction du temps.

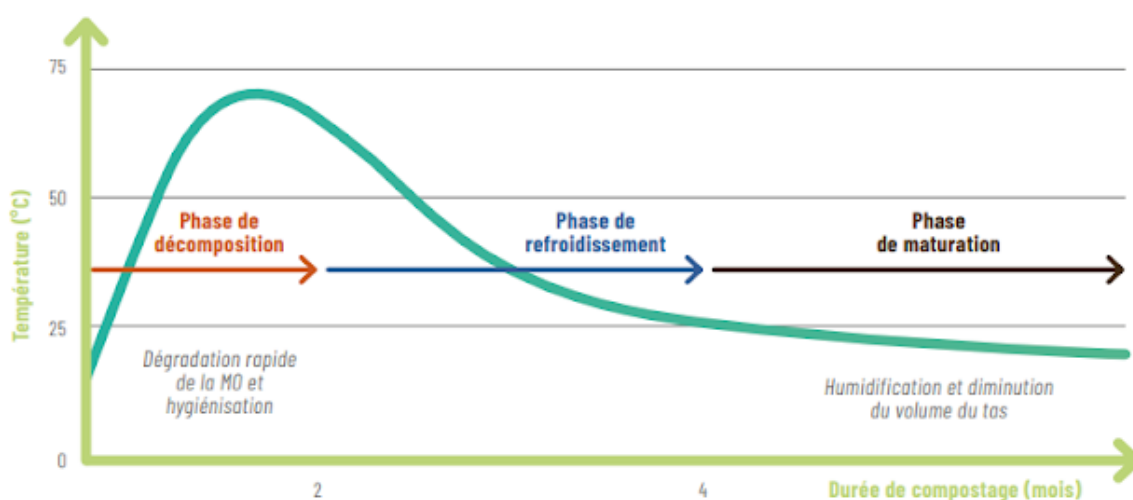


Figure 2 : Principales phases du compostage et processus en jeu

Source : https://occitanie.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Occitanie/Agroenvironnement/Guide-compostage-crao2019.pdf

Lors de la phase de décomposition aussi dit fermentation aérobie, la matière organique se dégrade rapidement avec une montée en température au-dessus de 60°C. Cette étape correspondait à la fragmentation des déchets organiques complexes par l'intervention de la macrofaune (vers de terre et grands insectes). L'hygiénisation du compost a lieu lorsque la température est maintenue plusieurs jours au-dessus d'une certaine valeur. Par exemple, on considère un compost suffisamment bien hygiénisé quand il atteint 70°C pendant 1 jour ou 60°C pendant 7 jours.

La phase de refroidissement est caractérisée par une stabilisation de la température. La faune et la flore vont décomposer le déchet organique en matière minérale, c'est-à-dire que les molécules organiques vont être transformées en matière minérale (minéralisation). La respiration cellulaire est donc favorisée pour éliminer la matière organique en la transformant en CO₂.

La phase de maturation s'accompagne de la transformation du reste de matière organique et d'acide organique en humus stable sous l'action des champignons qui prennent la place des micro-organismes.

3. Organisation des unités de compostage

3.1. Horaires d'ouverture

L'accès aux 3 plateformes est autorisée aux horaires suivants :

Jours	Particuliers	Professionnels
VELLES		
Du lundi au vendredi	8h30-12h30	8h-11h30 et 13h30-16h30
Le samedi (avril-juin)	8h30-12h30	Accès refusé
DIORS		
Du lundi au vendredi	Accès refusé	8h-11h30 et 13h30-16h30
HEUGNES		
Du lundi au vendredi	Accès refusé	8h-11h30 et 13h30-16h30

Tableau 3 : horaires ouvertures suivant les types d'usagers des plateformes

3.2. Fonctionnement de l'unité de compostage :

➤ Réception et stockage

En général, les plateformes reçoivent des déchets des paysagistes ayant signé une convention, des communautés de communes, des mairies et de groupes.

	DV	Bois B	Bois énergie (Bois A)	Boues	Bûches et Souches	Soupe Biodéchet
<i>Plateforme réceptrice</i>	Diors, Velles, Heugnes	Diors	Diors	Velles	Diors, Velles, Heugnes	Heugnes
Paysagistes	X				X	
Communautés de Communes	X	X			X	
Mairies	X			X		
Groupe (COVED, SUEZ, SAUR, BF 36)	X (COVED)	X (COVED)	X (BF 36)	X (SUEZ, SAUR)		X (AGRIDECE)

Tableau 4 : Synthèse des matières premières en fonction des principaux groupes de clients

En ce qui concerne les communautés de communes, les plateformes reçoivent tous les déchets verts et bois des déchetteries des collectivités suivantes :

- Communauté de commune de Pays en Bazelles,
- Communauté de commune du Boischaut Champagne,
- Communauté de commune Ecueillé Valençay,
- Communauté de commune Val de l'Indre,
- Communauté de commune Val de Bouzanne,

- Communauté de commune du Pays d'Issoudun,
- Communauté de commune Vallée de la Creuse,
- Communauté de commune du canton de Vatan,
- Communauté de commune Champagne Berrichonne,
- Châteauroux métropole.

En moyenne, il est réceptionné 7 000 T de DV par an sur les plateformes ce qui donne une production de compost de 3 500T. En ce qui concerne la réception des boues de stations, la moyenne est de 1 500T.



Figure 3 : Communauté de commune du département de l'Indre

Source : <https://www.indre.gouv.fr/contenu/telechargement/11859/92683/file/Carte+CA+et+CC+au+1er+janvier+2016.pdf>

Une fois que la zone de réception de DV, de Bois A et B et de bûches et souches possède un volume considéré suffisant, une session de broyage est alors déclenchée.

Les boues sont reçues sur des tapis de broyats de DV ou de sciures de bois puis elles sont mises en andains.

Les biodéchets sont reçus dans des « piscines » de broyats de DV et donc mélangés directement.

➤ Broyage

Les plateformes ne possèdent pas de broyeur, un prestataire est donc sollicité pour cette prestation. Le broyeur possède des “marteaux” qui vont avoir pour objectif de déchiqueter les matières pour réduire leurs tailles et obtenir un mélange homogène. Dans le cas des déchets verts, une plus petite taille facilite leur décomposition. Les broyats sont entreposés en andain qui sera considéré comme lot et sera suivi tout le long du processus de compostage.

Les broyats de bois B sont ensuite expédiés chez un client pour contribuer à la **fabrication de panneaux de particules**.

Les Broyats de bois A, bûches et souches sont expédiés aussi en tant que **combustible, bois de chaufferie, biomasse**.



Figure 4 : Session de broyage de déchets verts à la plateforme de Diors

Source : Mary PARYSECK

➤ Phase de dégradation

Durant la phase de dégradation qui dure approximativement 2 mois, l'andain est arrosé en circuit fermé avec l'eau du bassin et ensuite il est retourné à l'aide d'une chargeuse pour apporter de l'oxygène. Cette combinaison est à répéter au moins 3 fois pour assurer une hygiénisation globale de l'andain et est unanime pour la production de compost de DV, de MIATES et de biodéchets. Un contrôle continu de la température est nécessaire afin de vérifier la bonne montée en température et de l'hygiénisation suivant la norme et la charte des ACF de l'andain. Néanmoins la norme ne pose pas les mêmes seuils de température minimum pour ces 3 composts :

Types de compost	Compost de DV	Compost de MIATES	Compost de Biodéchets
Température (°C)	60°C	60°C	70°C
Temps (jours)	7 jours	7 jours	1 jour

Tableau 5 : Seuil minimum de température par produit pour assurer l'hygiénisation

A noter :

Lors du processus de compostage, les andains vont perdre en humidité au travers de jus qui s'écoulent vers le bassin pour être stockés. Ces jus sont utilisés pour les arrosages des andains via des asperseurs de manière que rien ne se perde et que toute la richesse de la matière organique soit maintenue dans le compost.

➤ Phase de maturation

Lors de la phase de maturation, l'andain est laissé en repos pour que la température redescende pendant 2 mois. Un compost immature risquerait d'exercer une influence dépressive sur les cultures.

➤ Criblage

A la fin du processus le contenu de l'andain passe dans un cribleur ce qui va permettre de le séparer en 2 fractions, d'une part la fraction la plus grossière qui sera considérée comme des refus et d'une autre part la fraction la plus fine qui sera commercialisée en tant que compost.

Le trommel qui est une grille de tamis peut posséder plusieurs diamètres qui vont influencer la granulométrie du compost final.



Figure 5 : Session de criblage d'un andain de DV sur la plateforme de Heugnes

Source : Mary PARYSECK

➤ Valorisation du produit fini

Les éléments grossiers sont alors remis en tête de chaîne dans les déchets verts pour activer la fermentation en raison de leur grande concentration en bactéries ou alors ils seront transformés en bois énergie à destination de chaufferie.

En ce qui concerne le produit le plus fin, un échantillon est envoyé dans un laboratoire pour s'assurer de la conformité réglementaire, de la valeurs agronomiques (VA) et de l'absence d'éléments métalliques lourds (ETM) ou de micro-organismes pathogènes (MOP). Il est aussi important d'évaluer la teneur NPK pour la commercialisation.

Après ce processus de 4 mois, ce compost est proposé aux agriculteurs ainsi qu'aux habitants locaux. Toutes les plateformes sont expéditrices de compost pour les agriculteurs à contrario, seule la plateforme de Velles possède un point de vente pour les particuliers.

3.3 Comment caractériser un compost ?

Il y a les **indicateurs quantitatifs** qui correspondent à la composition chimique : carbone, azote, potassium.

Il y a aussi les **indicateurs qualitatifs** pour prédire l'évolution des produits dans le sol notamment au travers de l'indice de dégradation qui est le **rapport C/N**. Celui-ci correspond au nombre de mol de carbone sur le nombre de mol d'azote. Quand le C/ N est inférieur à 10% cela indique que le compost renferme beaucoup d'azote ce qui apportera des éléments nutritifs à la culture. En revanche, quand c'est un C/N est plus important, celui-ci est plus riche en carbone et donc contribuera à structurer le sol. Il y a aussi l'**indice de stabilité de la matière organique (ISMO)**, cet indice correspond à la proportion de MO de l'humus par rapport à l'ensemble du taux de la MO du compost. Il y a aussi le poids de l'**hygiénisation** qui caractérise l'élimination des pathogène. Puis la **caractérisation biochimique de la MO** : cellulose, lignine.

Différence entre le compost et le terreau ?

Le terreau est assimilable directement par les plantes donc il n'y a pas besoin de le mélanger alors que le compost a besoin d'être mélangé à la terre. Le terreau a des éléments déjà directement minéralisés.

Le compost étant très concentré, il est indispensable de le mélanger avec 2/3 de terre.

4. Processus et facteurs influençant

4.1 Processus

Le processus de compostage commence à la formation de l'andain. Tout d'abord, lors de la phase de fermentation, des organismes **mésophiles** tels que des bactéries, des champignons ou des mauvaises herbes, qui prospèrent au mieux dans un milieu avec une température comprise entre 20 et 45°C, se multiplient rapidement en raison de la disponibilité des sucres et acides aminés. Cette multiplication et cette consommation agissent sur la décomposition de la M.O ainsi que la principale perte de masse. Mais la surpopulation dans une espace limité combiné à la production de chaleur par leurs propres métabolismes, élèvent la température à un seuil supérieur à leur condition de vie optimum et inhibent leurs propres activités.

S'en suit l'apparition d'organismes **thermophiles** caractérisés par toutes les bactéries et les champignons qui peuvent vivre à des températures au-delà de 45°. Cette phase élimine complètement la phase mésophile donc les pathogènes, les adventices, les champignons et poursuit le processus à travers la décomposition des sources plus complexes de carbone, telles que la cellulose et la lignine. Elles vont donc ainsi augmenter la température du compost à 65°C, voire plus. Cette hausse de température est cruciale pour la qualité du compost car la chaleur tue les pathogènes et les graines d'adventices. A ce stade, ont lieu l'évaporation d'eau et l'azote (N) est transformée en ammoniac. La perte de poids continue également. [Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole].

Pendant la phase de maturation, la température du tas diminue. A ce stade, une autre catégorie de champignons thermophiles apparaît. Ils sont responsables d'une étape importante de décomposition des membranes cellulaires végétales comme la cellulose. La maturation du compost permet d'éviter les risques entraînés par l'utilisation d'un compost immature : faim d'azote et effets toxiques des acides organiques sur les plantes. Le pH s'équilibre vers la neutralité.

Finalement, la température diminue jusqu'à la température ambiante. Le compost devient brun foncé à noir. Les particules sont plus fines et homogènes, et la texture est comparable à celle d'un sol.

4.2 Facteurs importants et influençant le compostage aérobie

- La source de chaleur, les micro-organismes

Les bactéries aérobies sont les premiers décomposeurs du réseau trophique du composteur. Elles ont besoin d'oxygène et d'eau en quantité raisonnable pour se développer. Dans un compost trop sec (<35% de taux d'humidité), les bactéries aérobies ne peuvent quasiment pas se développer seules. Dans un compost trop humide (plus de 75% de taux d'humidité par exemple), l'eau remplit les espaces lacunaires et favorise le développement des bactéries anaérobies, responsables de la production de méthane. Composter en conditions aérobies évite la production de ce gaz, mais génère du CO₂ et de la vapeur d'eau [MOREAU, 2019].

Pour se développer, les micro-organismes ont donc besoin que le taux d'humidité soit de 50% à 70%. D'autres conditions favorables sont requises : une température comprise entre 10°C et 70°C, un pH neutre et un milieu riche en azote qui fournira aux bactéries une indispensable source d'énergie.

Au cours du processus de compostage, l'activité métabolique des bactéries agit donc sur des matières organiques fraîches et, en présence d'oxygène, produit des molécules organiques stabilisées. A des températures supérieures à 55-60°C, la production de chaleur est progressivement stoppée car ces températures deviennent défavorables à la survie bactérienne [MOREAU, 2019].

Les températures élevées caractérisent les processus de compostage et sont les indicateurs d'une activité microbienne importante. Les pathogènes sont en général détruits à 55°C et plus, alors que le point critique d'élimination des graines d'adventices est de 62°C.

- Le comburant : l'aération et l'humidité

Le compostage nécessite d'importantes quantités d'oxygène, tout particulièrement lors de la fermentation. L'aération est assurée par des brassage mécanique (retournement) à l'aide d'une chargeuse. Elle est la source d'oxygène, ce qui en fait un facteur indispensable pour le compostage. Quand l'approvisionnement en oxygène n'est pas suffisant, la croissance des micro-organismes aérobies (organismes mésophiles + thermophiles) se trouve limitée, ce qui ralentit la décomposition. De plus, l'aération ne sert pas uniquement à assurer la survie des organismes aérobie, il permet aussi de réguler la chaleur. L'évacuation de l'énergie reposant pour beaucoup sur l'élimination de la vapeur d'eau et son transport par l'air, l'humidité du compost est aussi un paramètre clé pour la régulation thermique du compost [Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole].

L'humidité est nécessaire pour assurer le bon développement et l'activité métabolique des micro-organismes. Le compost devrait avoir une teneur en eau de 50 à 65 % d'humidité dans la masse brute. Si le tas est trop sec, le processus de compostage est plus lent.

- Le combustible, la matière organique

La matière organique issue des biodéchets, des boues et du broyat de déchets verts fournit les éléments nutritifs comme de l'azote, source de protéines et du carbone, source d'énergie nécessaires à la croissance des micro-organismes. Afin d'aboutir à la production d'un compost de qualité agronomique suffisante, la matière organique doit contenir une quantité minimale de carbone et une quantité maximale d'azote pour respecter les normes (C/N). Une fraction du carbone provient essentiellement de la teneur en lignine [MOREAU, 2019].

La lignine est un des principaux constituants des parois cellulaires des branchages. Sa structure chimique complexe la rend résistante à la dégradation microbienne. La lignine réduit la biodisponibilité des autres constituants des parois cellulaires et sert d'amplificateur de porosité, c'est -à -dire que l'oxygène reste "capturé" dans l'andain, ce qui crée des conditions favorables pour le compostage [Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole].

Afin d'obtenir, en fin de processus de compostage, un rapport C/N proche de celui d'un humus forestier (rapport C/N de 10 environ), il est nécessaire d'avoir en début de processus, un pourcentage nettement plus élevé en carbone dans les apports de branchages et broyats, ou une teneur beaucoup plus faible en azote. La perte de carbone au cours du processus de compostage s'explique par une émission de carbone sous forme gazeuse et par le lessivage du aux intempéries. Seule une partie du carbone restera dans le compost sous forme de carbone organique résiduel ou sera minéralisée. Une partie de cette dernière fraction est directement assimilable par les plantes [MOREAU, 2019].

4.3. Un processus avec des zones d'ombres

La qualité du compost dépend de la qualité des apports des usagers ! La présence de plastique reste notable en raison des lacunes de tri au début de la chaîne de production volontairement ou involontairement (voir figure 6). Il est nécessaire de surveiller dès la collecte en déchetterie, un contrôle qualité doit être également fait lors du chargement des bennes et du déchargement sur la plateforme.

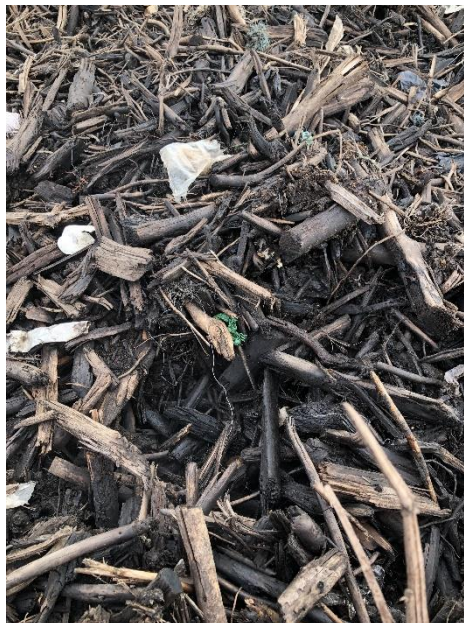


Figure 6 : Présence de plastique dans l'andain de refus + boues

La création d'une plateforme de compostage est un investissement important, il est nécessaire d'évaluer les tonnages disponibles avant d'engager une démarche.

Le montant des investissements en matériel à prévoir à minima sont en moyenne :

- Chargeur : 100 000€
- Broyeur : 360 000€
- Cribleur : 200 000€

L'hygiénisation reste aussi une zone d'ombre. Pour rappel, la réglementation exige une hygiénisation au-dessus des seuils minimum (pour DV et MIATES, 60° pendant 7 jours et pour biodéchets, 70° pendant 1 jours) pour certifier que les pathogènes et graines d'adventices soit éliminés. Pour ce faire l'ensemble du processus tourne essentiellement autour des fluctuations de la température. Il est néanmoins possible de se demander si chacune des particules de matière organique qui constitue l'andain a été au moins une fois dans une zone de chaleurs correspondant aux seuils.

5. Une hygiénisation possible en tous points de l'andain ?

Un essai expérimental a donc été réalisé avec un protocole simple et du matériel limité. Le but de cet essai était de se représenter les différents points de température. Ces données ont été obtenues lors d'une prestation de retournement de manière à accéder à tous les niveaux de l'andain. Ces données restent pour le moins discutables.

2 indicateurs sont primordiaux : le suivi de température et la présence de biodiversité.

5.1. Suivi de température

Méthode

Pour cet essai expérimental à petite échelle, parmi les différents andains suivis, nous avons sélectionné deux andains en fermentation à des mois différents. Le numéro attribué à chacun des andains ainsi que les données qui les caractérisent (date, agent structurant utilisé, plateformes, durée de fermentation) sont indiqués dans le tableau suivant.

N° de l'andain suivi	Date de formation de l'andain	Agent structurant utilisé	Durée de fermentation (semaines)	Espace de fermentation utilisé
H-DV-22/04	20/12/2022	DV	14	Sur béton
V-B-23/03		Refus + Boues		Sur béton

Tableau 6 : Lots d'études

Ainsi, pour prendre la température au cours de la phase de fermentation des andains sélectionnés, nous avons coupé en 4 fractions. Sur chacune des fractions, on positionne en 3 points la sonde de température (sondes Thaut, Tmilieu et Tbas). L'intérêt de ce modèle est de mesurer la température de l'andain à différentes profondeurs représentées sur l'illustration 2.

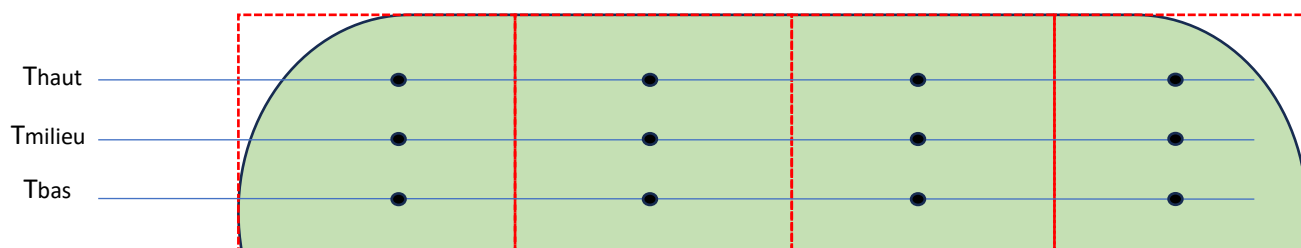


Illustration 2 : Schéma descriptif de la position des prises de températures

Résultat :

➤ Résultat andain DV

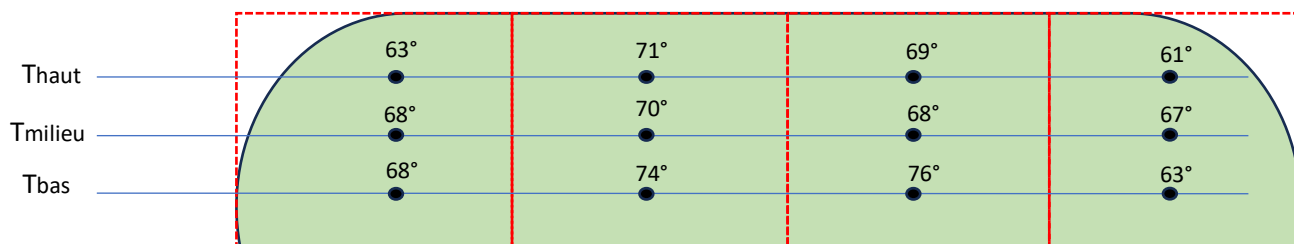


Illustration 3 : Schéma prises de températures Lot H-DV-22/04

Nous pouvons globalement observer que plus la sonde est située en bas de l'andain, plus la température est élevée (illustration 3). Néanmoins l'ensemble de l'andain présente des températures au-dessus de 60°.

➤ Résultat andain refus + boues

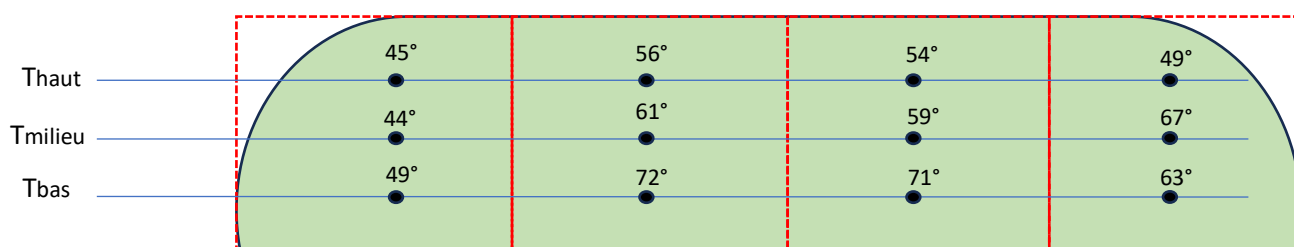


Illustration 4 : Schéma prises de températures Lot V-B-23/03

Nous pouvons globalement observer que plus la sonde est profonde plus la température est élevée (Illustration 4). L'ensemble de l'andain n'est pas au-dessus du seuil de 60°.

Résultat général :

Globalement, il est constaté que les températures sont plus élevées plus on avance en profondeur dans l'andain. Ceci est beaucoup plus flagrant dans le cas de l'andain de refus + boues. Ces résultats peuvent avoir comme origine les agents structurants. En effet, ce lot contient uniquement des refus et boues. Les refus, très ligneux étant difficilement dégradables, la matière organique se tasse et donc « déserte » la partie haute de l'andain.

Il a également été constaté des « cheminées de chaleur ». Ces cheminées sont des zones relativement linéaires et plus ou moins importantes situées de manière aléatoire dans l'andain. Ces zones ont pour particularité, une humidité importante et une température élevée (en moyenne 76°). Celles-ci ont pu être constatées au sein de l'andain et quelque fois à la surface.



Figure 7 : Cheminée de chaleurs dans andain refus + boues à la surface (à gauche) et dans l'andain DV à l'intérieur (à droite)

Source : Mary PARYSECK

Conclusion :

Tout d'abord 12 points de prise de température ne peuvent être clairement représentatifs de l'ensemble d'un andain. Ces données sont juste à titre indicatif.

Les températures ne sont pas uniformes sur l'ensemble de l'andain. En effet, il y a un gradient de températures plus ou moins important suivant les andains. Les particules situées en surface de l'andain lors de sa création ne peuvent être hygiénisées à l'instant même. D'autres particules situées plus en profondeur peuvent être dans une zone ne regourant pas les conditions adéquates pour monter en température. Les retournements et les arrosages sont nécessaires pour ramener ces particules au centre de l'andain pour assurer leur montée en température.

La composition de l'andain, le nombre de retournements, l'arrosage sont des facteurs très importants pour assurer la montée en température et donc l'hygiénisation de l'andain.

5.2 biodiversités présentes

Lors de relevé de températures et de la prise d'échantillons, quelques espèces ont été observées. A souligner qu'il en existe bien plus (comme expliqué dans la partie 2) et que seront citées uniquement celles qui ont été observées.

Dans les 2 andains, nous avons trouvé une population très abondante de forficules européens (**Forficula auricularia**), un insecte polyphage et grégaire qui consomme à la fois des végétaux en décomposition et des insectes.



Figure 8 : *Forficula auricularia*

Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Forficula_auricularia

Les cloportes se sont parfaitement bien acclimatés à tous les andains et ce peu importe leurs compositions. Sur chaque site leurs populations sont rapidement devenues très abondantes voire dominantes sur les autres espèces. En particulier, une grande prolifération de l'espèce **Porcellionides pruinosus**, un cloporte appréciant la sécheresse et tolérant des températures élevées. Les cloportes colonisent généralement les coins supérieurs et la surface du compost en formation (zones les plus sèches). Là où ils sont présents.



Figure 9 : *Porcellionides pruinosus*

Sources : <https://www.animateur-nature.com/Fiches-invertebres2023/porcellionides-pruinosus.php>

Comme les autres espèces de diptères, les **mouches-soldats** semblent coloniser assez peu les andains, hormis en été, où elles sont plus visibles. Dans l'andain refus + boues, nous avons trouvé des larves de mouches-soldats.



Figure 10 : mouche-soldat

Source : <https://jardin-marais-poitevin.com/la-mouche-soldat-noire/>

Les champignons **coprin plissé** (*coprinus plicatilis*) ont été aperçus une seule fois dans l'andain déchets verts. En effet, ils sont réputés pour vivre dans les pâturages et lisières de bois.



Figure 11: *Coprinus plicatilis*

Source : Mary PARYSECK

Un champignon potentiellement intéressant a été identifié dans un lot de refus + boues. Les filaments mycéliens de ce champignon structuraient très fortement le broyat, jusqu'à former des sortes de chignons denses mélangeant éclats de bois et mycélium. Il n'a pas été possible d'identifier distinctement ce champignon. Il pourrait s'agir d'un **champignon basidiomycète ectomycorhize**, dont les pouvoirs structurants et absorbants pourraient se révéler utiles en compostage. Les branchages lui fournissent, en quantités importantes, des composés carbonés directement assimilables, essentiels à la vie du champignon.



Figure 12 : Champignons présent dans l'andain de refus + boues

Source : Mary PARYSECK

5.3. Une aération améliorée pour assurer l'hygiénisation

Afin d'obtenir un compost final de qualité homogène, l'ensemble du tas devrait recevoir une quantité suffisante d'oxygène pour que les micro-organismes aérobies prospèrent de manière uniforme sur l'ensemble de l'andain. Des méthodologies sont présentées et décrites ci-dessous :

➤ *Taille et porosité de l'andain*

La taille de l'andain est très importante. Quand l'andain est trop grand, des zones anaérobies peuvent se former ce qui ralentit le processus dans ces zones. A contrario, les andains qui sont de trop petite taille perdent rapidement leur chaleur et ne vont pas atteindre une température suffisamment élevée pour permettre l'élimination des pathogènes et des graines d'adventices. La porosité du compost et la façon de former le tas devraient être pris en compte mais il est compliqué de définir la taille optimale des andains [*Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole*].

➤ *Ventilation*

Les méthodes de ventilation sont variées :

- La méthode simple : faire des trous dans l'andain à plusieurs endroits.
- La méthode chinoise : insertion de tiges de bambou dans l'andain qui seront retirées un jour plus tard, laissant ainsi des trous d'aération.
- La méthode des andains aérés passivement : enfouissement de tuyaux perforés et ouvert aux extrémités dans l'andain. Un flux d'air apparaît et l'oxygène est ainsi apporté continuellement.

- La méthode du tas aéré statique : un ventilateur produit un flux d'air afin de créer une dépression (aspiration) dans le l'andain.

➤ *Brassage mécanique/ Retournement*

Une fois la phase de dégradation débutée, la seule technique permettant d'améliorer l'aération est le retournement à l'aide d'un retourneur d'andain ou d'une chargeuse. La fréquence de retournement est cruciale pour élever la température. Dans certains cas, non seulement le retournement répartit l'air dans l'andain, mais il permet d'éviter la surchauffe en éliminant un peu les micro-organismes. Cependant, un retournement trop fréquent peut empêcher la température d'augmenter [*Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole*].

Conclusion :

Ce stage a été une très belle opportunité d'allier ma formation initiale concernant l'environnement avec le domaine agricole qui m'attire beaucoup professionnellement. J'y ai découvert le secteur du compostage, son processus ainsi que son aspect réglementaire qui est en constante évolution.

Ce stage a, tout d'abord, été pour moi une phase d'apprentissage car je n'avais aucunes connaissances dans ce domaine. Puis, le processus compris et progressivement intégré, j'ai pu prendre part à certaines missions de manière plus autonome concernant la traçabilité des déchets intrants et produits sortants ainsi que le suivi de qualité. J'ai aussi pu répondre à des missions ponctuelles qui touchaient à l'administratif, le réglementaire et de la technique à la hauteur de mes moyens. J'ai participé à plusieurs rencontres ACF en France qui furent particulièrement riche en termes d'échange sur les différents modèles de fonctionnement et en termes d'innovations.

Ce stage a permis d'évoluer en autonomie sur des constructions et suivis de projets. Il m'a conforté professionnellement sur cet attrait et me permet d'envisager un futur dans ce domaine où il me reste beaucoup à explorer et à apprendre.

Résumé :

Ce stage s'oriente principalement sur un enjeu, celui de la valorisation des déchets verts, des boues et des déchets alimentaires présents sur notre département de l'Indre. L'objectif est de les inscrire dans un processus de compostage à destination des agriculteurs locaux pour offrir d'autres possibilités d'amendement en parallèle de ceux dits chimiques proposés par les coopératives agricoles.

Pour réaliser ce compost, plusieurs étapes sont nécessaires, tant pour assurer une qualité du compost que pour répondre aux réglementations en vigueur et en évolution permanente dans notre pays. Le compostage se répartit sur 3 sites ayant chacune leurs spécificités. Deux phases doivent être respectées ; la première est la fermentation et la seconde est la maturation. La fermentation nécessite le plus de travail et de suivi car c'est durant cette phase qu'on doit respecter les conditions en vigueur. L'utilisation d'engins et une surveillance accrue de température permettent de prouver une hygiénisation qui est la condition majeure pour un compost de qualité.

Abstract :

This internship focuses mainly on an issue, that of the reuse of green waste, sludge and food waste present in our department of Indre. The objective is to include them in a composting process for local farmers to offer other possibilities of amendment in parallel with chemical amendment proposed by agricultural cooperatives.

To make this compost, several steps are necessary, both to ensure the quality of the compost and to meet the regulations in force and constantly evolving in our country. Composting is present in 3 sites each with their own specificities. Two phases must be respected; the first is fermentation and the second is maturation. Fermentation requires the most work and monitoring because it is during this phase that we must respect the conditions in force. The use of machine and important temperature monitoring make it possible to demonstrate a hygienization which is the major condition for a quality compost.

Références :

Actu-environnement. (2009, 23 novembre). *Des traitements bases sur des Phénomènes naturels.*

Actu-Environnement. https://www.actu-environnement.com/ae/dossiers/compostage_methanisation/traitements_compostage.php4

Guide du compostage à la ferme. (2019, décembre). *Chambre d'agriculture Occitanie.*

https://occitanie.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Occitanie/Agroenvironnement/Guide-compostage-crao2019.pdf

Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole.

<https://www.fao.org/3/y5104f/y5104f05.htm#:~:text=Lors%20du%20compostage%20ana%C3%A9robique%2C%20la,hydrog%C3%A8ne%20et%20d%27autres%20substances>

MOREAU, S. (2019). Compostage de Basse énergie Bioinspiré. *compostou.*

zerodechettouraine.org/files/rapports/2019/bilan-technique-projet-compostou.pdf