# Etude d'accompagnement pour la mise en place d'une solution innovante de collecte et de pré-compostage des déchets organiques

**Rapport de stage de M1, Parcours Biologie Ecologie Evolution**


## Marion Lemaitre


**2020-2021**

Responsable de stage : Sébastien Moreau

Association Zéro Déchet Touraine

## Remerciements

Je souhaiterais en premier lieu remercier Sébastien Moreau pour son accompagnement et sa transmission de connaissances tout au long de cette période de stage, mais aussi pour avoir su tempérer mes doutes et mes angoisses lorsque tout ne fonctionnait pas comme prévu.

Je souhaits également remercier Sébastien Salvador pour m'avoir ouvert les locaux de géosciences, pour m'avoir fourni une partie des protocoles et le matériel nécessaires qu'il manquait à mes expériences, et permit d'effectuer mes expérimentations, sous la sympathique surveillance d'Isabelle Pene.

Evidemment, cette année de Master 1 n'aurait pas été si agréable sans une classe aussi soudée et l'ambiance générale d'entraide nous a permis à tous d'avancer ensemble et de nous soutenir.

# Sommaire

Introduction ..... 1
Le compostage de proximité ..... 1
Tourpluches, prototypes de pré-composteurs ..... 3
a. Analyse critique des Tourpluches ..... 3
b. Développement d'un additif de compostage ..... 5
i. Détermination de la proportion biodéchets/additif à tester ..... 5
ii. Choix des coproduits de l'additif ..... 5
Matériels et méthodes ..... 6
1. Préparation des échantillons ..... 6
2. Mesures de pH ..... 7
3. Mesures d'humidité massique ..... 8
Résultats ..... 9
1.1. Analyse des nuisances des prototypes de Tourpluches ..... 9
1.2. Comparaison des pH des différents échantillons ..... 9
1.1. Mesures d'humidité ..... 10
Discussion ..... 11
Conclusion ..... 17
Bibliographie ..... 18
Annexes ..... I
Résumé ..... IV
Abstract ..... IV

# Table des figures

Figure 1 Prototype de Tourpluches installées au Vers Galant en centre ville de Tours (vue de côté, tiroir inférieur ouvert) ..... 4
Figure 2 : Prototypes des deux Tourpluches installées au Vers Galant en centre ville de Tours, vue de face. La tour de gauche est ouverte, celle de droite fermée..... 4
Figure 3 : Réserve de broyat de branche (humide en son cœur) au sein de l'exploitation maraichère Le Potager de la Loire ..... 7
Figure 4 : Bacs dans lesquels étaient effectués les quartages des échantillons précédent les prises de mesures . 8
Figure 5 : Flacons mis à l'agitateur après préparation des sous échantillons..... 9
Figure 6 : Histogramme représentant les valeurs moyennes de pH des ingrédients testés en fonction de la proportion de coproduit dans l'additif de compostage..... 10
Figure 7 Histogramme représentant les valeurs moyennes d'humidité massique contenue dans les échantillons en fonction de la proportion de miscanthus dans l'additif de compostage ..... 11
Figure 8: Histogramme représentant les valeurs moyennes d'humidité massique contenue dans les échantillons en fonction de la proportion de charbon dans l'additif de compostage..... 11
Figure 9 Histogramme représentant les valeurs moyennes d'humidité massique contenue dans les échantillons en fonction de la proportion de broyat dans l'additif de compostage ..... 13
Figure 10: Histogramme représentant les valeurs moyennes de d'humidité massique contenue dans les échantillons selon les formules d'additif testées et en fonction de la proportion de coproduit dans l'additif .... 13
Figure 11 : photo prise lors des mesures de l'humidité des échantillons. On observe une grande variation d'humidité et de texture entre deux échantillons de même condition, ici la condition 25% de charbon ..... 15
Figure 12 : photo prise lors des mesures d'humidité des échantillons. En haut les trois réplicas De proportion 75% de miscanthus, en bas les proportions 100% de miscanthus. ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 13 : Actuelle poignée en demi-lune des prototypes de Tourpluches ..... II

# Introduction

## Le compostage de proximité

La loi Anti-Gaspillage pour une Économie Circulaire (Loi AGEC), entend "*accélérer le changement de modèle de production et de consommation afin de limiter les déchets et préserver les ressources naturelles, la biodiversité et le climat*. Avec l'instauration de cette loi, une « *obligation [de tri à la source / collecte sélective et valorisation des biodéchets] s'applique à tous les producteurs ou détenteurs de biodéchets, y compris aux collectivités territoriales dans le cadre du service public de gestion des déchets et aux établissements privés et publics qui génèrent des biodéchets* ». Du fait de l'urgence à trouver des méthodes de prévention, de tri et de valorisation des déchets, et notamment des déchets d'origine organique, on assiste à une montée en puissance une pratique millénaire de l'agriculture et du jardinage amateur : le compostage.

Le compostage est un processus biologique de transformation, en présence d'eau et d'oxygène (processus aérobie), des déchets organiques (sous produits d'élevage, déchets organiques provenant de ménages) par des micro-organismes (champignons microscopiques, bactéries, décomposeurs du sol etc...) en un produit stabilisé, riche en composés humiques. (ADEME, 2012). Le compostage de déchets organiques permet de réduire jusqu'à 30% du volume des déchets destinés à l'élimination (en général par mise en décharge ou incération). Lorsque le compostage est effectué correctement, les déchets organiques souvent humides et malodorants sont transformés en un produit plus sec et bien décomposé. (Cochran *et al.*, 1997)**.** Le compostage ne consiste pas seulement à entasser ses déchets de table et attendre qu'ils se décomposent d'eux-mêmes. Les biodéchets, ou déchets de table ou de cuisine, sont composés de matières azotées, qu'il convient d'équilibrer avec un apport de matières carbonées. En cela, le coproduit de compostage (produit ajouté aux biodéchets afin d'améliorer les conditions de décomposition) joue un rôle primordial dans la décomposition et la maturation du compost. Ce coproduit (le plus souvent du broyat de branches), doit être structurant, absorbant et carboné, pour produire un compost mature de bonne qualité.

D'après le Guide méthodologique du compostage partagé (ou semi collectif) (ADEME, 2012), « *le compostage partagé, ce sont toutes les opérations de compostage de proximité (pied d'immeuble, quartier, village) dans lesquelles les habitants prennent en charge tout ou partie de l'installation et de la gestion de leur site de compostage partagé*». …). Il existe

plusieurs techniques de compostage partagé. Entre autre le compost partagé dit de « haute énergie » (une montée de température est recherchée pour favoriser la décomposition des biodéchets) ; le Compostou, composteur « froid » (co-inventé par 4 bénévoles de l'association ZDT, une oxygénation passive se fait en présence de microorganismes du sol qui favorisent la décomposition de la matière organique) ; et la plateforme de compostage (ou compost en « andain », qui permet de traiter jusqu'à 52 tonnes de déchets, généralement utilisé en milieu (semi) rural) (Moreau, 2019b). L'Arrêté du 9 avril 2018 encadre ces pratiques.

Selon l'association Zéro Déchet Touraine, qui accompagne des sites de compostage partagés en Indre-et-Loire, la demande en matière de compostage de proximité est forte, mais il y a de moins en moins d'espaces disponibles pour les mettre en place. Il existe également une certaine réticence des collectivités territoriales à financer l'accompagnement ou la valorisation des biodéchets et à exercer leur compétence politique en ce domaine. Face à ces contraintes, de nouvelles solutions tel que le développement de points d'apports volontaires (PAV) de biodéchets émergent. Les PAV de biodéchets permettent de regrouper les déchets des ménages et des entreprises, avant collecte et valorisation en périphérie urbaine.

Porté par l'association Zéro Déchet Touraine, le projet URBA-GPROX est une proposition d'étude d'une durée de deux ans sur la gestion de proximité des biodéchets des ménages en milieu urbain à Tours. Il se structure en 3 volets (Moreau, 2019a):

1) Test d'un modèle de pré-composteur appelé Tourpluche® (PAV permettant un début de compostage des biodéchets dans l'appareil avant transfert sur plateforme) ;

2) Industrialisation de la filière de production du nouveau Compostou (version 3.0) ;

3) Mise en place d'une filière professionnelle d'approvisionnement en broyat de branches pour sécuriser les apports en coproduits de compostage de l'Association.

C'est sur le premier volet du projet que mon stage a porté. Il s'est structuré en trois axes de travail : A) une analyse critique du fonctionnement de deux prototypes de Tourpluche® en service depuis août 2020 à Tours afin d'éliminer les nuisances environnementales et d'en optimiser le fonctionnement technique

B) la construction de 10 nouvelles Tourpluches®

C) le développement d'un coproduit de compostage plus performant que le broyat de branche.

Avec Tourpluche et Compostou, Zéro Déchet Touraine souhaite proposer une nouvelle approche de la valorisation des biodéchets, basée sur les apports complémentaires des sciences du vivant, des sciences de l'ingénieur et de l'écologie sociale.

## Tourpluches, prototypes de pré-composteurs

Deux prototypes identiques de Tourpluches ont été élaborés par Matthias Castaing et Sébastien Moreau en 2020, dans le cadre d'un stage de fin d'études d'Ingénieur de l'Institut Supérieur de Mécanique de Paris, effectué au sein de Zéro Déchet Touraine (Castaing, 2020) et installés en août 2020 place du Vert-Galant à Tours (Fig 1 et 2).

La Tourpluche est un meuble d'extérieur anti-basculement, pourvu d'une façade amovible sur roulettes. Elle est équipée de 3 tiroirs contenant chacun 2 bacs de transport Integra de 25 l. Les utilisateurs d'une Tourpluche sélectionnent le tiroir qu'ils souhaitent ouvrir à l'aide de verrous pistolet disposés en façade, ouvrent l'un des bacs et y vident leurs biodéchets ménagers. Lorsque tous les bacs sont pleins (généralement au bout de 2 à 4 semaines d'utilisation), ils sont transférés et vidés sur une mini-plateforme de compostage en andain située chez un permaculteur (Le Potager de Loire). Contrairement à un simple PAV de biodéchets, qui ne sert qu'à stocker provisoirement les biodéchets en attendant leur enlèvement, la Tourpluche permet à ceux-ci de pré-composter, grâce à la litière de broyat (Fig3) qui absorbe les excès d'humidité et aux organismes décomposeurs naturellement présents dans le broyat. Il s'agit donc d'un pré-composteur, nouvel objet-concept que Zéro Déchet Touraine ambitionne de déployer en Indre-et-Loire.

### a. Analyse critique des Tourpluches

Afin d'optimiser la conception et l'utilisation des futures Tourpluches, nous avons effectué une analyse critique des deux prototypes de Tourpluches en fonctionnement, à l'issue d'une période d'usage de 8 mois (annexe 1).Cette étude révèle que le broyat de branche est un coproduit qui comporte bien des inconvénients, tels que la variabilité de la qualité et de l'accessibilité au produit.

Le présent projet consiste en une recherche d'optimisation de la décomposition des biodéchets dans le cadre de points d'apport volontaire, via un coproduit de compost plus performant que le broyat de branche, et favorisant de meilleures conditions de pré-compostage et une bonne préparation au compostage en andain. Le but des expériences menées est de tester la capacité d'absorption de l'humidité de différents coproduits testés individuellement (le travail sur la formulation des coproduits faisant l'objet de la deuxième

**Figure 1 Prototype de Tourpluches installées au Vers Galant en centre ville de Tours (vue de côté, tiroir inférieur ouvert)**

**Figure 2 : Prototypes des deux Tourpluches installées au Vers Galant en centre ville de Tours, vue de face. La tour de gauche est ouverte, celle de droite fermée.**

partie de mon stage), et d'observer l'évolution de la décomposition des biodéchets en fonction des coproduits testés, en suivant les variations de pH, au cours d'une expérience de 30 jours. L'étude du pH est particulièrement intéressante puisque les échantillons étudiés contenant de petits volumes, ils ne favorisent pas la montée en température d'un compost traditionnel, habituel indicateur de décomposition. Lors de la phase de décomposition de la matière organique, il semble y avoir une tendance à l'acidification du milieu (Duchaufour, 1950), c'est pourquoi l'évolution du pH a été utilisée comme indice de décomposition.

### b. Développement d'un additif de compostage

#### i. Détermination de la proportion biodéchets/additif à tester

Dans les prototypes de Tourpluches déjà en fonctionnement, 8 l de broyat (à une densité moyenne de 300 g/l) et jusqu'à 16 l de biodéchets (à une densité moyenne de 425 g/l) apportés volontairement par les utilisateurs peuvent être déposés dans chaque bac de 25 l (le bac n'étant pas rempli jusqu'en haut). Le broyat mis en mélange représente donc 33.3% du volume final (équivalents à 26.1% de la masse finale) et les biodéchets 66,7% du volume final (73,91% de la masse finale). Ce sont des proportions récurrentes dans les ouvrages dédiés au compost (Fasquel, 2018). Pour rester cohérents avec la littérature et le fonctionnement des prototypes déjà en place, nous avons décidé d'être proches de cette gamme de poids et de volumes dans nos expériences.

#### ii. Choix des coproduits de l'additif

Les coquillettes ont été choisies comme biodéchet expérimental car c'est un ingrédient facile à manipuler, standardisé et très économique, au vu des quantités nécessaires aux expériences (Annexe 2). Trois coproduits ont été testés pendant le stage : biochar, miscanthus et broyat.

**Le biochar**, constitué à partir de poudre de charbon obtenu par pyrolyse, a été sélectionné **pour ses propriétés carbonées et pour servir de support au développement de micro-organismes**. Certaines expériences montrent que l'ajout de biochar à des déchets verts et à du résidu de compost de champignonnières permet une augmentation de la qualité du compost, un allongement de la période thermophile et une réduction du temps de compostage (Zhang & Sun, 2014). **Le miscanthus**, a été sélectionné pour tester sa capacité d'**absorption de l'humidité**. En effet, cette graminée remplace de plus en plus la paille dans les litières d'animaux. Elle serait capable d'absorber jusqu'à trois fois son poids en eau, grâce au cœur spongieux de sa tige. Certaines expériences de co-compostage avec du miscanthus ont déjà

été menées, mais nécessitent des recherches complémentaires pour en attester l'utilité (Clemmensen & Robinet, 2004). **Le broyat de branche** est le principal élément utilisé comme **structurant de compost et source de carbone** en compost partagé. Ce coproduit nous sert entre autres de témoin positif pour comparer les performances des nouveaux coproduits pouvant le remplacer. Le broyat utilisé dans notre expérience est du broyat sec issu d'un élagage de branches de chêne intervenu en avril 2021 sur le campus de Grandmont (Tours).

A ces ingrédients s'additionne le marc de café, utilisé comme tampon dans toutes les conditions afin de pouvoir faire varier les proportions de coproduits en conservant la même proportion totale d'additif.

A la suite de ces expériences, nous nous attendons à ce que le taux d'humidité soit similaire dans tous les échantillons (car l'eau a été principalement apportée par les coquillettes cuites). On peut également prédire que les conditions contenant une faible proportion de coproduit (et donc une plus forte proportion de marc de café) soient plus acides que les conditions à forte proportion de coproduit, en raison de la nature acide du marc de café.

# Matériels et méthodes

## 1. Préparation des échantillons

Les expériences ont été réalisées dans des sacs congélation à fermeture à glissière de 3L, avec une masse de coquillettes (Auchan) cuites représentant toujours 65% du poids sec total de l'échantillon (soit 436 g sur 654 g), et un additif constitué d'un coproduit en mélange avec du marc de café sec (issu de café Grand mère) dans une proportion de 35% du poids sec total de l'échantillon (218 g sur 654 g). La proportion d'ingrédient (=coproduit) dans les 218 g d'additif (ingrédient couplé au marc de café) variait de 0 à 100%, le marc de café complétant l'additif dans des proportions inverses (100 à 0%) et jouant ainsi le rôle de tampon. Quatre proportions de coproduits ont été testées, soit 25, 50, 75 ou 100%. Chaque condition a été reproduite en trois réplicas.

Le marc de café a été produit en faisant bouillir du café moulu dans de l'eau puis en le séchant au four une 10 min à 240°C en fine couche (maximum 2 cm). Les coquillettes ont été cuites dans de l'eau bouillante pendant 10 min et égouttées. Simultanément, différentes

Figure 3 : Réserve de broyat de branche (humide en son cœur) au sein de l'exploitation maraichère Le Potager de la Loire

quantités de coproduits à tester ont été pesées dans les sacs à congélation (pour les différentes proportions se référer au tableau de quantité en annexe). Une fois les coquillettes, le marc de café et les coproduits mélangés, les échantillons ont été placés dans une étuve à 20°C pendant un mois.

Nous avons obtenu de la poudre de charbon en écrasant des blocs de charbon de bois La Forestière du nord (charbon issu de bois non traités provenant de Lettonie) à l'aide d'un véhicule Xsara Picasso (Citroën) puis en criblant les éclats de charbon à travers un tamis de maçon à mailles carrées de 8 mm. Pour devenir biochar, la poudre de charbon de bois doit être mélangée à de l'eau et à des microorganismes environnants (apportés dans notre cas par les coquillettes cuites et le marc de café qui n'ont pas été stérilisés).

## 2. Mesures de pH

Afin de procéder aux mesures de pH, il a fallu adapter un protocole d'étude de sol à un matériau solide. La mesure du pH comprend les étapes suivantes :

- Détermination de la masse volumique : la masse de l'échantillon a été mesurée dans un contenant d'1 L d'échantillon, puis la masse volumique calculée par la formule suivante : ρ ($en\ g$/ml) = $m$ ($en\ g$) / $V$ ($en$ ml). Pour cela, il a fallu effectuer des quartages de chacun des

échantillons (i.e. séparés en quatre) (Fig 4). Après mélange et homogénéisation, les ¾ de l'échantillon étaient remis dans le sac initial ; et le dernier quart redécoupé en quatre, etc, jusqu'à obtention de la quantité désirée d'échantillon (soit un volume d'1L). Le sous-échantillon final doit être au maximum représentatif de l'échantillon total, pour obtenir des résultats cohérents.

- Dilution à un rapport ⅕ : 60ml de matériau frais ont été dilués dans 300 ml d'eau désionisée. Les échantillons ont ensuite été placés sous agitation pendant 1 heure (Fig 5), avant d'effectuer les mesures de pH avec la sonde à pH (électrode 600PSW de type Jumo).

### 3. Mesures d'humidité massique

La mesure de l'humidité massique a été réalisée pour connaitre la teneur en eau contenue dans les échantillons. Tout comme pour le pH, des quartages ont été effectués. Les sous-échantillons ont été pesés puis répartis dans des boîtes en aluminium de 0,5 l, sur 1 cm d'épaisseur puis mis à sécher pendant 48h à l'étuve à 105°C. Au bout des 48h les échantillons ont été pesés à nouveau. L'humidité massique a été calculée grâce à la formule suivante : Humidité = ((masse du sous-échantillon frais –masse du sous-échantillon sec)/masse sous-échantillon sec) x 100.

Figure 4 : Bacs dans lesquels étaient effectués les quartages des échantillons précédent les prises de mesures

Figure 5 : Flacons mis à l'agitateur après préparation des sous échantillons

Les tests statistiques ont été effectués avec Tanagra. Nous avons souhaité comparer le pH et les teneurs en eau massique relevées dans des échantillons de coproduits de compostage contenant différentes proportions d'ingrédient afin de vérifier si ces valeurs différaient significativement. Les données de pH ne suivant la loi normale, un test non paramétrique de Kruskal-Wallis a été effectué. Ce test montrait une différence significative entre les pH des différentes conditions. Un test non paramétrique d'appariement, test de Wilcoxon-Mann-Whitney, a été effectué afin de détecter une différenciation selon la caractéristique de tendance centrale des distributions. Les données d'humidité ont été analysées grâce à un test paramétrique de type ANOVA à un facteur car la distribution des données suivait une loi normale.

# Résultats

## 1.1. Analyse des nuisances des prototypes de Tourpluches

Le tableau des nuisances et des solutions proposées est joint en annexe 1.

## 1.2. Comparaison des pH des différents échantillons

Le test de Wilcoxon montre une différence significative entre le témoin (100% marc de café) et toutes les proportions testées de broyat et de miscanthus (*p-value* = 0,04953 inférieure à la valeur seuil de 1,96396). Le pH moyen des échantillons à base de charbon n'était pas significativement différent de celui des échantillons témoins.

### 1.1. Mesures d'humidité

#### *Miscanthus*

Ce test indique que l'humidité moyenne des différentes conditions testées ne diffère pas significativement en fonction des conditions de miscanthus, au risque consenti α = 0,05 ((F(4,10) = 2, 2852 ; p = 0,1318) (Fig 7).

#### *Charbon*

Ce test indique que l'humidité moyenne des différentes conditions testées ne diffère pas significativement en fonction des conditions de charbon, au risque consenti α = 0,05 ((F(3,8)=0,9976 p=0,4420). La condition 100% Charbon a été supprimée en raison de la perte d'un des trois réplicas (Fig 8).

#### *Broyat*

Ce test indique que l'humidité moyenne des différentes conditions testées ne diffère pas significativement en fonction des conditions de broyat, au risque consenti α = 0,05 (F(4,10) = 0,1740 ; p = 0,9467). (Fig 9).

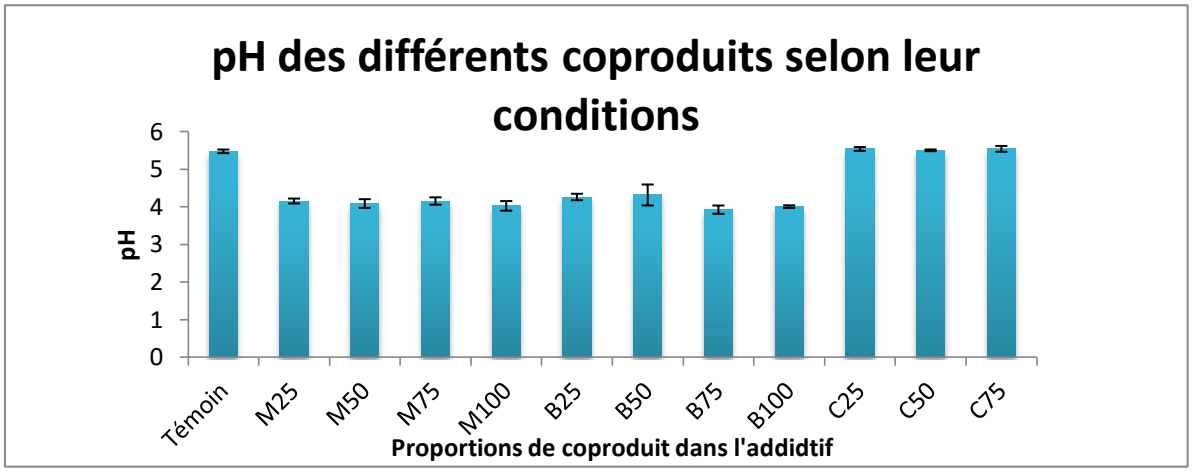


**Figure 6 : Histogramme représentant les valeurs moyennes de pH des ingrédients testés en fonction de la proportion de coproduit dans l'additif de compostage**

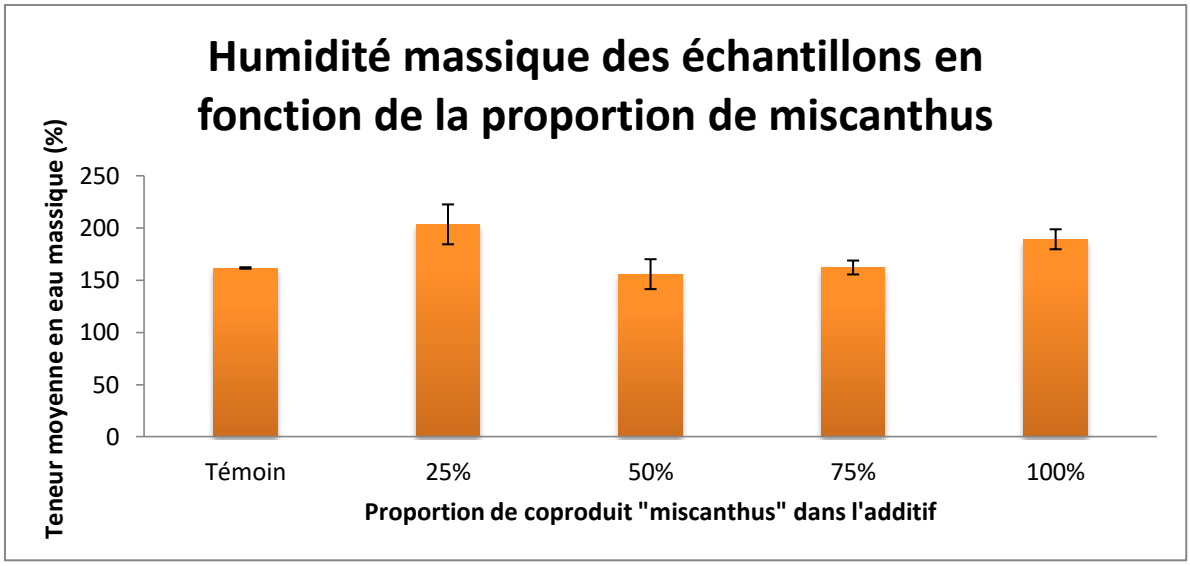


Figure 7 Histogramme représentant les valeurs moyennes d'humidité massique contenue dans les échantillons en fonction de la proportion de miscanthus dans l'additif de compostage

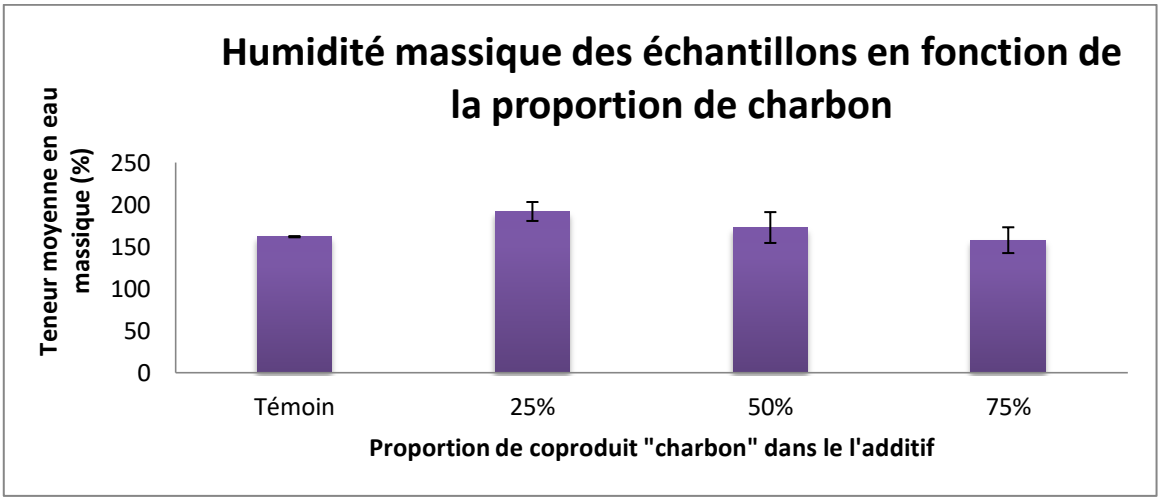


Figure 8: Histogramme représentant les valeurs moyennes d'humidité massique contenue dans les échantillons en fonction de la proportion de charbon dans l'additif de compostage

### *Tout ingrédient confondu*

Ce test indique que les taux d'humidité relevés ne diffèrent pas significativement ni selon l'ingrédient testé ni selon la condition, au risque consenti $\alpha = 0,05$ ($F(11,24)=0,9691$, $p=0,4981$) (Fig 10).

## Discussion

L'analyse critique des problèmes rencontrés lors de l'utilisation des deux premiers prototypes a révélé que le fort taux d'humidité du broyat de branches employé ne permet pas une bonne absorption de l'humidité des biodéchets des utilisateurs, ce qui favorise le développement de larves de diptères et la pullulation d'insectes volants. La mauvaise qualité

du broyat employé entraine aussi une gestion perfectible des lixiviats dans les bacs des Tourpluches, où se créent des poches d'anaérobiose. Les biodéchets fermentent alors en conditions micro-aérobies au lieu de composter correctement, ce qui engendre des nuisances olfactives pour les utilisateurs et les riverains. C'est de cette manière que rentre en jeu l'urgence de trouver une solution de coproduit de compost plus adaptée que le broyat de branche.

La mesure des taux d'humidité a confirmé qu'une même quantité d'eau, principalement apportée par les coquillettes cuites, a bien été ajoutée à nos échantillons et que les coproduits n'apportent qu'une humidité négligeable dans l'additif. La vérification de ce point était importante, car l'additif, qui sera un mélange d'ingrédients, devra être stocké sous une forme sèche et stable dans le temps.

Les résultats obtenus sur le pH des échantillons ne suivent pas nos prédictions mais sont encourageants. En effet, le marc de café, que nous pensions le plus acide, avait en fait un pH plus élevé que le miscanthus et le broyat. En effet les tests statistiques montrent une différence significative entre les pH moyens des échantillons à base de marc de café ou de charbon d'un côté et de broyat ou de miscanthus de l'autre. On peut suggérer que les coproduits ayant des pH similaires auront des effets proches sur la décomposition de la matière organique. Cependant, il faut aussi tenir compte du ratio C/N de ces ingrédients, de leur capacité d'absorption intrinsèque et de leur évolution dans le temps en présence d'humidité et de biodéchets. Ces autres paramètres vont être mesurés durant la seconde partie de mon stage. Une nouvelle série va être lancée pour suivre l'évolution des échantillons sur plusieurs semaines, qui inclura aussi de nouveaux ingrédients et des mélanges d'ingrédients.

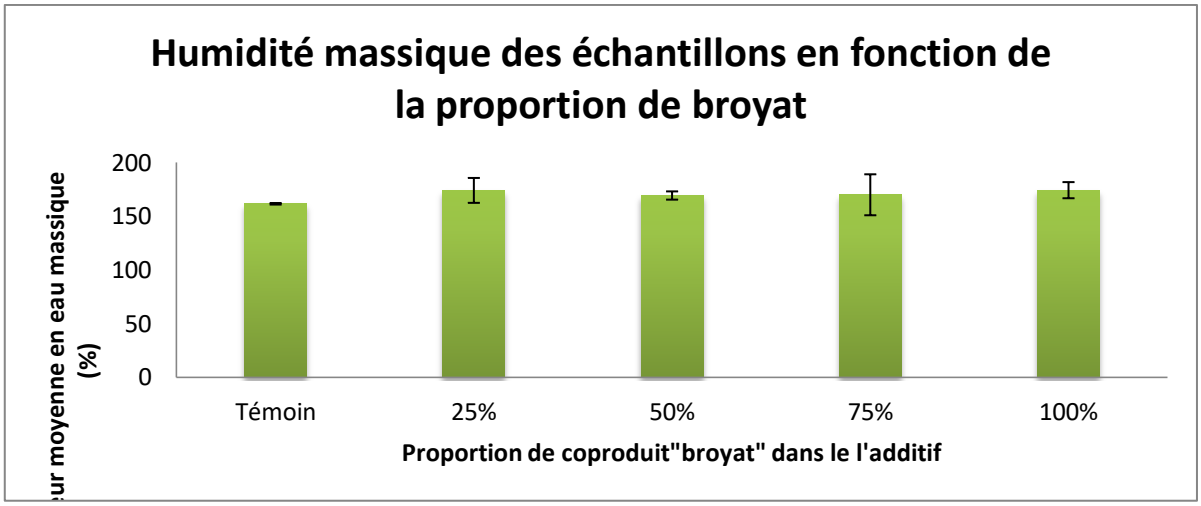


Figure 9 Histogramme représentant les valeurs moyennes d'humidité massique contenue dans les échantillons en fonction de la proportion de broyat dans l'additif de compostage

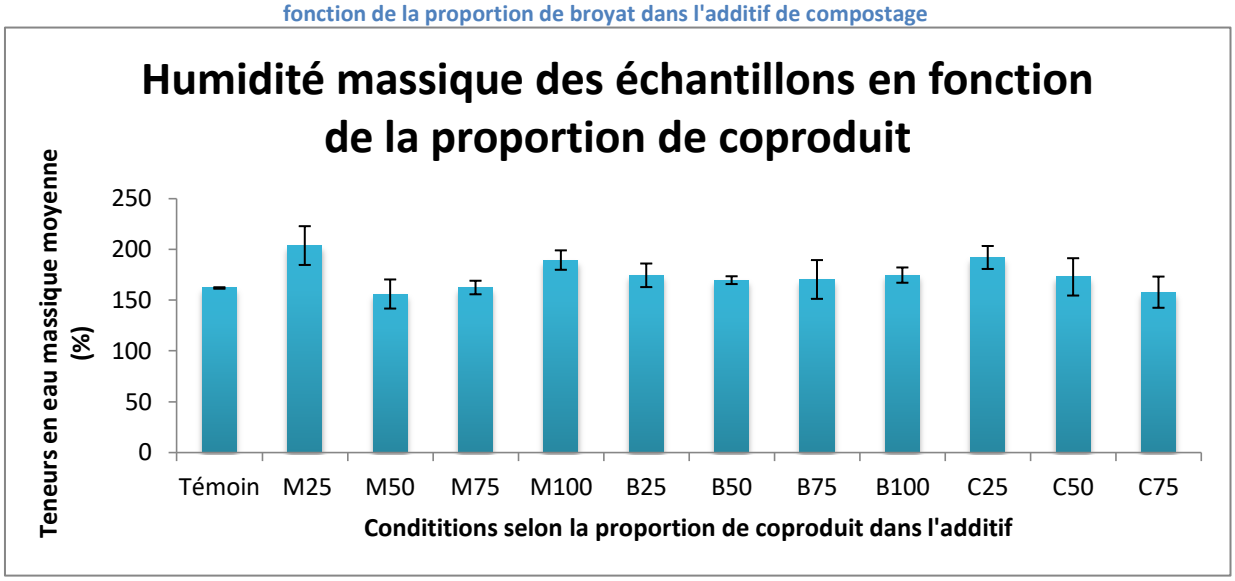


Figure 10: Histogramme représentant les valeurs moyennes de d'humidité massique contenue dans les échantillons selon les formules d'additif testées et en fonction de la proportion de coproduit dans l'additif

Une étude sur les propriétés du miscanthus révèle qu'il est capable d'absorber trois fois son poids en eau (Clemmensen & Robinet, 2004), pourtant les trois échantillons de condition 100% miscanthus faisaient partie des plus humides. En effet leur texture était relativement gluante en présence de coquillettes, et les échantillons n'étaient que peu structurés. Les résidus de coquillettes formaient des agglomérats, ce qui nous laisse douter de sa capacité réelle d'absorption (Fig 11). Il s'agit peut-être d'une réaction particulière à l'amidon des pâtes.

De manière générale, le charbon et le café (coproduits sous forme de poudre) sont les deux ingrédients avec la meilleure capacité à absorber l'humidité des échantillons. En effet, pour le charbon, toutes conditions confondues, les échantillons avaient une texture relativement sèche au toucher. Toutefois, nous avons aussi constaté une certaine variabilité inter réplica (Fig. 12), potentiellement due à des différences dans l'étanchéité des sacs (la glissière des sacs étant très fragile, ils avaient tendance à mal se refermer).

Très peu d'études ont été effectuées sur la recherche de coproduit de compostage partagé. En effet les expériences déjà menées traitent très peu de compost de déchets de cuisine, mais plutôt de grands volumes de déchets, tels que les déchets municipaux, ou les effluents d'élevage (Agegnehu et al., 2016, 2017; Wang et al., 2018) . Le défi de ce projet était d'adapter des protocoles déjà existants à des matériaux différents et en plus petits volumes. Il se peut donc que les protocoles adaptés ne soient pas parfaits. Pour citer quelques faiblesses, le protocole de calcul de la masse volumique d'un compost se doit de suivre la norme EN NF 13040, qui nécessite des outils auxquels je ne pouvais pas avoir accès dans les délais impartis par cette période de stage. Il m'a fallu adapter la méthodologie pour calculer la masse volumique de mes échantillons, en pesant mes échantillons dans un volume connu de 1 l. Avec cette méthode, il existe une grande variabilité de masse volumique inter réplica, pourtant supposés être très proches.

Selon le calendrier de prises de mesures, les mesures de pH et d'humidité auraient dues être effectuées moins de 24 h après le mélange des pâtes et des coproduits.

**Figure 11 : Photo prise lors des mesures d'humidité des échantillons. En haut les trois réplicas De proportion 75% de miscanthus, en bas les proportions 100% de miscanthus.**

**Figure 12 : Photo prise lors des mesures de l'humidité des échantillons. On observe une grande variation d'humidité et de texture entre deux échantillons de même condition, ici la condition 25% de charbon**

Cependant un certain temps a été perdu lors de l'organisation logistique des expériences. Les mesures se sont finalement effectuées sur la semaine suivant le mélange entre pâtes et coproduits. Il est certain que cela a provoqué des variations entre les mesures faites le premier jour et le dernier de la semaine de mesures.

D'autres coproduits sont envisageables et vont être testés dans la seconde partie de mon stage : moelle de tournesol (absorbant), compost à champignon comportant des résidus de mycéliums (augmente la vitesse de décomposition de la matière organique), et noix de lavage (riche en saponine, qui réduit les émissions de gaz issues du compost). Tous les coproduits présentés ont une légitimité à être testés pour leurs différentes propriétés, mais apparaît également une solution de recyclage de sous-produits de l'industrie agro-alimentaire. En effet, le broyat de branche (issu d'élagage) ; la moelle de tournesol, (résidu de l'agriculture) ; le compost de champignons (sous produit de l'agriculture mycicole) ; et le charbon actif, (pouvant être produit avec n'importe quel matériau organique) sont tout autant de matières généralement non utilisées et jetées. Aux ingrédients que nous testons s'additionne le marc de café, lui aussi un sous produit de la restauration. Ainsi, si nos expériences aboutissent, c'est une nouvelle branche économique qui peut se créer via le recyclage de ces matières.

Ce rapport ne rend compte que des premières mesures effectuées lors de la première semaine après mélange entre les pâtes et le coproduit, néanmoins la durée totale de l'expérience est de 30 jours. Les résultats visuels obtenus au jour 23 montrent un fort développement de champignons et de pourriture. En absence d'invertébrés, ce sont les champignons et les bactéries qui décomposent la matière organique. Il serait donc intéressant de reproduire ces expériences en présence d'organismes décomposeurs du sol, pour mimer le plus possible des conditions réelles de compost et évaluer la capacité de l'additif final à être efficacement biodégradé. Quant aux coproduits testés, il serait pertinent de reproduire les mêmes expériences, en substituant un autre produit au marc de café afin d'observer de quelle manière évoluent le pH et l'humidité dans d'autres conditions. Il serait intéressant de conserver le marc de café comme coproduit, que l'on pourrait ajouter en différentes proportions, afin d'évaluer sa capacité d'absorption.

Ces expériences servaient de première tentative afin de rendre compte du travail et de l'organisation nécessaire à ces expériences, mais également pour éclaircir un sujet sur lequel peu d'études ont été effectuées.

## Conclusion

Ce stage s'effectuant sur une période de trois mois, le dernier mois sera dédié à l'étude et la découverte de nouvelles possibilités de coproduits. Certains coproduits n'ont pas pu être testés lors de ces expériences par manque de temps ou de disponibilité des matériaux. Un article étudiant la combinaison du biochar et de résidu de compost d'activité mycicole (Zhang & Sun, 2014) révèle qu'une certaine proportion de ces coproduits couplés à des déchets organiques permet en moyenne une meilleure dégradation des déchets en un temps plus court, il serait intéressant d'étudier cette piste. La piste de la moelle de tournesol semble également intéressante comme produit absorbant. Nous sommes déjà en contact avec des agriculteurs disposés à nous en fournir. Il semble également nécessaire de reproduire les mêmes expériences en estompant au maximum les potentiels biais précédemment présentés.

Ce stage se structurant en trois volets, la phase de construction des tours de compost reste encore à finaliser. Une convention avec La Maison pour la Science à également été établie afin d'intervenir dans une classe de maternelle. La sensibilisation aux notions de décomposition des déchets organiques à l'aide de microorganismes décomposeurs du sol, et de compost seront les thèmes de ces interventions.

## Bibliographie


ADEME. (2012). *Guide Methodologique Du Compostage Partagé (Ou Semi-Collectif)*. 87p.

Agegnehu, G., Bass, A. M., Nelson, P. N., & Bird, M. I. (2016). Benefits of biochar, compost and biochar-compost for soil quality, maize yield and greenhouse gas emissions in a tropical agricultural soil. *Science of the Total Environment*, *543*, 295–306. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.054

Agegnehu, G., Srivastava, A. K., & Bird, M. I. (2017). The role of biochar and biochar-compost in improving soil quality and crop performance: A review. *Applied Soil Ecology*, *119*(June), 156–170. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.06.008

Castaing, M. (2020). *Concevoir le compostage en zone d ' habitat urbain dense*.

Clemmensen, A. W., & Robinet, D. (2004). Physical characteristics of miscanthus composts compared to peat and wood fiber growth substrates. *Compost Science and Utilization*, *12*(3), 219–224. https://doi.org/10.1080/1065657X.2004.10702186

Cochran, V. L., Sparrow, E. B., Schlentner, S. F., & Knight, C. W. (1997). Long-term tillage and crop residue management in the subarctic: Fluxes of methane and nitrous oxide. *Canadian Journal of Soil Science*, *77*(4), 565–570. https://doi.org/10.4141/S96-089

Duchaufour, P. (1950). *L ' Humus Forestier*. 479–488.

Fasquel, J.J., *Composter en ville : recyclage des biodéchets pour tous et partout*, Rustica éditions, 2018

Moreau, S. (2019a). *Bilan intérmediaire du projet URBA-GPROX*.

Moreau, S. (2019b). *Compostage de Basse énergie Bioinspiré*.

Wang, K., Yin, X., Mao, H., Chu, C., & Tian, Y. (2018). Changes in structure and function of fungal community in cow manure composting. *Bioresource Technology*, *255*(January), 123–130. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.01.064

Zhang, L., & Sun, X. (2014). Changes in physical, chemical, and microbiological properties during the two-stage co-composting of green waste with spent mushroom compost and biochar. *Bioresource Technology*, *171*(1), 274–284. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.08.079

## Annexes

Annexe 1 : Etude de nuisances et difficultés rencontrées lors de l'utilisation des prototypes de Tourpluches

| **Difficulté rencontrée** | **Constat** | **Solutions** |
|---|---|---|
| Difficulté pour certains utilisateurs d'utiliser l'étage inférieur des tours | Etage trop bas, manque de praticité pour vider les bio-seaux de biodéchets des ménages | Mettre en place des sachets individuels de coproduits (broyats ou autre). Ces sachets rangés dans le tiroir inférieur, les utilisateurs auraient juste à ouvrir le bac inférieur et récupérer leur sachet de coproduit, à utiliser à domicile à vider au fur et à mesure dans leur bio-seaux.<br>Ainsi le tiroir inférieur ne sert plus que de « rangement », et on évite ainsi les difficultés d'utilisation. |
| Impossibilité de savoir quel tiroir est en cours d'utilisation. | Le système de loquet de tiroir n'est pas respecté par tous les utilisateurs, ou n'est pas une solution optimale pour marquer quel tiroir est enclenché. | La mise en place d'un loquet Libre/Occupé, amovible seulement depuis l'intérieur du tiroir, pourrait être une solution. |
| Accrochage de la griffe permettant de remuer les biodéchets avec le coproduit | Vol d'outils | Si l'on s'en tient aux sachets individuels, l'additif est emporté chez les utilisateurs, mélangé directement avec leur biodéchets, ce qui évite la nécessité d'un brassage à même le bac, et donc d'outil.<br>Il existe aussi la possibilité de mettre en place une petite trappe lors de la construction des tours, afin d'y ranger les outils, si la solution des sachets individuels n'est pas fiable). |
| Difficulté de brassage avec la griffe en place au | La griffe actuellement en place, ne permet pas un | Il existe des outils spécialisés pour le brassage de compost en profondeur comme le Brass'Compost. Il est possible de s'inspirer de ces outils spécialement conçus pour le compost, et de l'adapter à des |

| | | |
|---|---|---|
| Vers Galant | brassage optimum et hétérogène du coproduit et des biodéchets | bacs de compost de petite contenance. |
| Difficulté d'ouvrir les premiers bacs de chaque tiroir. | Les bacs sont trop rapprochés de la façade, le couvercle ne s'ouvre pas en entier | Espacer les cales bacs lors de la construction des prochaines tours. |
| Difficulté à trouver la poignée en demi-lune dans la planche | La demi-lune qui sert de poignée aux tiroirs n'est pas évidente à trouver et son utilité n'est pas optimale. | Figure 13 : Actuelle poignée en demi-lune des prototypes de Tourpluches<br>Il serait possible de rajouter de la couleur à la planche comportant la demi lune, afin qu'elle soit plus visible. On peut également penser à changer cette demi-lune par une véritable poignée, qu'il suffirait de fixer à la planche. |
| Invasion de larves (drosophiles, mouches soldats, etc…) | Mauvais mélange des biodéchets et du broyat. | Mise en place de couvercle en fibre de coco. Permet d'éviter au maximum les échanges entre l'intérieur du bac et l'extérieur, tout en permettant les échanges gazeux. |
| Broyat très humide | Mauvaise absorbance de l'humidité des biodéchets par le broyat | Trouver un substrat plus performant (en cours)<br>Meilleure protection du broyat : étaler le tas de broyat pour lui permettre de sécher et le recouvrir d'une bâche pour le protéger des intempéries. |

Annexe 2 : Tableau de quantités de produits utilisés au cours des expériences sur la recherche d'un coproduit de compost.

| Ingrédients | Proportion à tester (%) | Poids d'ingrédient pour 1 réplica (g) | Poids de café pour 1 ingrédient | Poids de coquillettes pour 1 réplica |
|---|---|---|---|---|
| Charbon actif | 25 | 54,5 | 163,5 | 436 |
| Charbon actif | 50 | 109 | 109 | 436 |
| Charbon actif | 75 | 163,5 | 54,5 | 436 |
| Charbon actif | 100 | 218 | 0 | 436 |
| Broyat | 25 | 54,5 | 163,5 | 436 |
| Broyat | 50 | 109 | 109 | 436 |
| Broyat | 75 | 163,5 | 54,5 | 436 |
| Broyat | 100 | 218 | 0 | 436 |
| Miscanthus | 25 | 54,5 | 163,5 | 436 |
| Miscanthus | 50 | 109 | 109 | 436 |
| Miscanthus | 75 | 163,5 | 54,5 | 436 |
| Miscanthus | 100 | 218 | 0 | 436 |
| Tournesol | 25 | 54,5 | 163,5 | 436 |
| Tournesol | 50 | 109 | 109 | 436 |
| Tournesol | 75 | 163,5 | 54,5 | 436 |
| Tournesol | 100 | 218 | 0 | 436 |
| Noix de lavage | 25 | 54,5 | 163,5 | 436 |
| Noix de lavage | 50 | 109 | 109 | 436 |
| Noix de lavage | 75 | 163,5 | 54,5 | 436 |
| Noix de lavage | 100 | 218 | 0 | 436 |
| Champignon | 25 | 54,5 | 163,5 | 436 |
| Champignon | 50 | 109 | 109 | 436 |
| Champignon | 75 | 163,5 | 54,5 | 436 |
| Champignon | 100 | 218 | 0 | 436 |
| Témoin (coquillettes et café) | 0 | 0 | 218 | 436 |
| **Total** | | **3270** | **2180** | **10900** |

## Résumé

Suite à l'instauration de la loi AGEC, une valorisation des pratiques du compostage partagé réapparait. L'association Zéro Déchet Touraine a mis en pace un objet-concept de points d'apports volontaires et de gestion de proximité des biodéchets, les Tourpluches. Les biodéchets mélangés à un coproduit de compost (broyat de branche) commencent ainsi un processus de pré-compostage avant valorisation en périphérie urbaine. Le broyat de branche ne remplit pas les conditions à un bon pré-compostage. Dans cette étude sont analysés les prototypes de Tourpluches afin d'en améliorer l'utilisation. De plus, le miscanthus, le marc de café et le biochar sont testés comme coproduit de compost avec comme objectif de remplacer le broyat de branche. Le pH et l'humidité des échantillons sont testés, aucun résultat significatif n'est mis en évidence lors de ces tests. Le faible nombre de réplicas et les biais expérimentaux ne permettent pas de conclure précisément sur cette étude, des expériences complémentaires seraient nécessaires.

Mots clés : compostage partagé, points d'apport volontaire, Tourpluches, coproduit, biochar, miscanthus.

## Abstract

Following the introduction of the Anti-Waste for a Circular Economy law, a promotion of shared composting practices is reappearing. The association Zero Waste Touraine has set up a concept object of voluntary contribution points and proximity management of bio-waste, the Tourpluches. The biowaste mixed with a compost coproduct (branch shredding) thus begins a pre-composting process before being recycled in the urban periphery. Branch shredding does not meet the requirements for good pre-composting. In this study, the prototypes of the Tourpluches are analysed in order to improve their use. In addition, miscanthus, coffee grounds and biochar are tested with the aim of replacing the branch shredder. The pH and moisture content of the samples were tested; no significant results were found in these tests. The low number of replicates and the experimental biases do not allow to conclude precisely on this study, further experiments would be necessary.

Keywords: shared composting, voluntary collection sites, Tourpluches, co-product, biochar, miscanthus.