

IMT Atlantique

Projet Commande Entreprise

Campus de Nantes — IMT Atlantique
4, rue Alfred Kastler — La Chantrerie
CS 20722

44307 Nantes Cedex 3

Téléphone : +33 (0)2 51 85 81 00

URL : www.imt-atlantique.fr



Présentation des prototypes finaux - GROUPE 60

Projet Commande Entreprise - parcours ingénieur A2 FISE

PROJET COMMANDÉ ENTREPRISE :

PRÉSENTATION DES PROTOTYPES FINAUX

Destinataires : FRISCOURT François, D'HERBEMONT Arthur

Selecteurs : RABIER Valentin

Date d'édition : 14 décembre 2025

Version : V1



IMT Atlantique
Bretagne-Pays de la Loire
École Mines-Télécom

X



WOLFF Emilien
GERBAUD Paul
ALBERT Louis
KAYSER Valentin
RABIER Valentin
ROUYRE Sarah
ADAM Raphaël
RIBEIRO DE ASSIS Nathalia

Tuteur école : D'HERBEMONT Arthur
Tuteur entreprise : FRISCOURT François

Sommaire

1. Rappel du contexte	3
2. Prototype 1 : Evacuation d'air dans les coins	5
2.1. Idée initiale	5
2.2. Conception	6
2.3. Réalisation	6
2.3.1. Impression	6
2.3.2. Usinage	6
2.3.3. Assemblage	7
2.4. La suite : les tests à effectuer	8
3. Prototype 2 : Évacuation d'air centrale	9
3.1. Idée du prototype	9
3.2. Modélisation 3D :	9
3.3. Conception	10
3.4. Réalisation	11
3.4.1. Usinage	11
3.4.2. Assemblage	11
3.5. La suite : les tests à effectuer	13
4. Prototype 3 : Aérateur pour compost	14
4.1. Idée de la solution	14
4.2. Pourquoi cet aérateur ?	15
4.2.1. Comment amortir le prix de l'aérateur ?	16
4.2.2. Combiner les solutions 1 et 3 !	16
4.3. La suite : les tests à effectuer	16
Références	17

Liste des figures

1.1. Lombrics à l'origine de la transformation de matière	3
2.1. Premiers schémas conceptuels du prototype	5
2.2. Capture Fusion 360 de la modélisation	6
2.3. A gauche, les tubes dans les coins dans la partie inférieure du lombricomposteur et à droit l'adaptation de la planche de fond	7
2.4. Mise en place dans le lombricomposteur	7
2.5. Rendu final du prototype	8
3.1. Premier schéma du prototype	9
3.2. Capture Fusion 360 de la modélisation	10
3.3. Mise en place du guidage inférieur	11
3.4. Mise en place du guidage supérieur	12
3.5. Schéma du couvercle fini	12
4.1. Aerateur pour Compost	14
4.2. utilisation de l'aérateur	15
4.3. Utilisation de l'aérateur vue de côté	15

4.4. Combinaison des solutions	16
--	----

Liste des tableaux

1.1. Tableau des fonctionnalités, critères, niveaux, flexibilité et priorité pour le projet Terre Vorace. FP : fonction principale, FS : fonction secondaire, FC : fonction de contrainte.	4
---	---

Chapitre 1

Rappel du contexte

Ce document a pour but de citer les différentes solutions explorées pour aérer efficacement un lombricomposteur. Ces solutions ont été trouvées et établies grâce à des recherches documentaires, et adaptée afin de remplir les exigences établies précédemment. On rappelle ci-après le cahier des charges du projet, ainsi que les objectifs du projet.

Un lombricomposteur est un système qui utilise des vers pour transformer les déchets organiques en lombricompost et lombrithé. Les déchets sont en général placés dans des plateaux aérés et humides, permettant de séparer des étages : au fil du temps, les vers montent vers les nouveaux déchets tandis que le compost mûr reste en bas.

Les lombricomposteurs de Terre Vorace ne sont pas constitués de plateaux, mais d'une cuve principale aérée. Il permet de maintenir une humidité optimale et d'éviter la surchauffe. Cependant, avant cette étude, les lombricomposteurs n'étaient pas équipés de système de régulation de température pouvant causer la mort des vers.

L'enjeu de ce système d'aération serait donc de permettre de maintenir l'intérieur du composteur dans des conditions permettant la survie des vers.



FIGURE 1.1 – Lombries à l'origine de la transformation de matière

OBJECTIF

1. Améliorer le composteur en le dotant d'un système d'aération efficace permettant la survie des lombries.
2. Permettre une régulation de l'humidité dans l'enceinte du lombricomposteur, sans dépasser un certain seuil.

Fonction	Critère(s)	Niveau(x)	Flexibilité	Priorité
FP1 – Maintenir un environnement favorable aux lombrics	Température interne	$\leq 30^{\circ}\text{C}$ (idéal 25°C)	Faible	1
	Humidité de l'air de la boite	60–80%	Faible	
	Protection contre gel et chaleur extrême	Tolérance au froid, max 35°C ambiant	Nulle	
FP2 – Assurer une ventilation et évacuation d'humidité	Débit d'air suffisant	Limiter condensation	Moyenne	1
	Filtration des odeurs	Aucune odeur à proximité du lombricomposteur (détectable par un nez humain)	Faible	
	Étanchéité aux nuisibles	Aucun insecte ni lombric ne passe	Nulle	
FS1 – Assurer une autonomie énergétique low-tech	Source d'énergie	Piles privilégiées (pas solaire/piezo)	Moyenne	2
	Consommation énergétique	Très faible, système passif favorisé	Forte	
FS2 – Assurer un retrofit sur des lombricomposteurs existants	Simplicité d'installation	Adaptation simple sur lombricomposteur existant (-d'1 h)	Moyenne	1
FC1 – Respecter les contraintes matériau et production	Matériaux	Prototype en bois/imprimé en 3D; Solution finale en matière recyclé et/ou (métal possible) et/ou bois	Moyenne	1
	Budget prototypage	$\leq 1000\text{€}$	Nulle	
FC2 – Assurer une évacuation simple du compost par le technicien	Espace disponible	Aisance d'utilisation d'une pelle au sein du lombricomposteur	Faible	1
FC3 – Transportabilité	Masse totale vide	$\approx 60 \text{ kg max}$	Moyenne	3

TABLE 1.1 – Tableau des fonctionnalités, critères, niveaux, flexibilité et priorité pour le projet Terre Vorace.
FP : fonction principale, FS : fonction secondaire, FC : fonction de contrainte.

Chapitre 2

Prototype 1 : Evacuation d'air dans les coins

2.1. Idée initiale

L'idée initiale consiste en l'intégration de tubes en arc de cercle perforés dans les coins du lombricomposteur. Ces tubes sont doublés d'une membrane empêchant le passage des vers et des acariens. Le flux d'air principal circule dans l'espace situé entre la paroi du lombricomposteur et le tube. Afin de faciliter cette circulation, le couvercle et la base du lombricomposteur ne recouvrent que la zone contenant la matière compostable. Les ouvertures ainsi créées sont protégées par un grillage en maille (en inox) très fin, empêchant toute intrusion de matière dans ces zones.

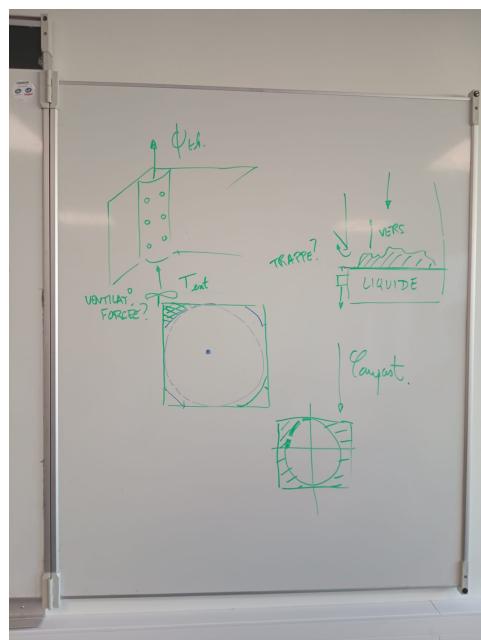


FIGURE 2.1 – Premiers schémas conceptuels du prototype

La modélisation physique réalisée pour les trois prototypes montre que la température du lombricomposteur s'autorégule naturellement. Le débit d'air minimal nécessaire pour évacuer la chaleur produite est donné par :

$$\dot{m}_{\text{air}}^{\min} = \frac{\dot{Q}_{\text{gen}} - \frac{\Delta T}{R}}{c_{p,\text{air}} \Delta T} = \frac{30 - \frac{9}{0,269}}{1005 \times 9} \approx \frac{30 - 33,4}{9045} < 0.$$

Un débit négatif étant impossible, aucune extraction d'air n'est requise pour la régulation thermique. En revanche, des aérations restent indispensables pour l'évacuation de l'humidité produite par la matière organique.

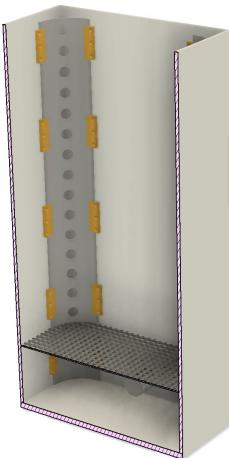
Le document complet *Modélisation physique du système* est disponible en annexe du livrable fourni.

2.2. Conception

Pour conserver l'objectif de solution durable et low tech, nous avons décidé d'implanter le moins possible d'électronique et uniquement d'adapter des pièces mécaniques et d'usiner le lombricomposteur qu'on nous a fourni pour les essais.

La CAO était pour nous un incontournable. Elle permet :

- un placement précis et une simulation mécanique pour pouvoir simuler une contrainte par le poids du compost.
- une visualisation qui simplifie la conception sans avoir besoin de maquetter.
- un paramétrage qui permet d'avoir un modèle qui se reconstruit automatiquement en cas de changement de cote, produisant ainsi immédiatement les pièces prêtes à la fabrication.
- la production des modèles 3D, exportables et imprimables sous un trancheur 3D.



Une vue de la modélisation 3D est présentée en [FIGURE 2.2](#), et met en évidence les éléments ajoutés au lombricomposteur :

- Quatre quartes de tubes en PVC de diamètre 125 mm découpés à la scie sauteuse et percés avec une scie cloche pour permettre la circulation de l'air.
- Des fixations imprimées en 3D permettant de plaquer les quartes de tube dans les coins du lombricomposteur. Elles sont vissées dans les parois. L'impression 3D permet une solution sur mesure, simple à mettre en œuvre et utilisant un matériau biodégradable.
- Une membrane en maille d'acier inoxydable empêchant le passage des lombrics tout en garantissant l'aération, collée à l'intérieur des tubes à l'aide d'une colle mastic.
- Enfin, afin que les colonnes d'air soient débouchantes en haut et en bas, le couvercle est percé et équipé de quatre bouchons creux contenant du charbon actif pour limiter les odeurs.

[FIGURE 2.2 – Capture Fusion 360 de la modélisation](#)

2.3. Réalisation

Pour l'usinage et l'impression 3D, nous avons disposé des outils et de l'atelier de Terre Vorace, qui nous a permis de modifier le lombricomposteur fourni et d'usiner les nouvelles pièces. Nous sommes également allés au Fablab de l'école pour la découpe des tubes.

2.3.1. Impression

L'impression 3D est un moyen simple de réaliser nos prototypes. En effet, le matériau est peu coûteux, facile à imprimer et réalisable à partir d'un logiciel de CAO (en l'occurrence, Fusion 360).

2.3.2. Usinage

Les usinages réalisés durant ce projet sont essentiellement destinés aux découpes des tubes en PVC. Pour cela, une simple découpe à la scie sauteuse à suffi, suivie d'un ponçage des arêtes et finalement d'un perçage à la scie cloche sur la perceuse à colonne.

La deuxième grande partie du travail consistait en l'adaptation du lombricomposteur en découpant l'étage intermédiaire et le fond pour l'adapter aux quartes de tubes. Pour cela, nous avons utilisé la scie sauteuse du Fablab.

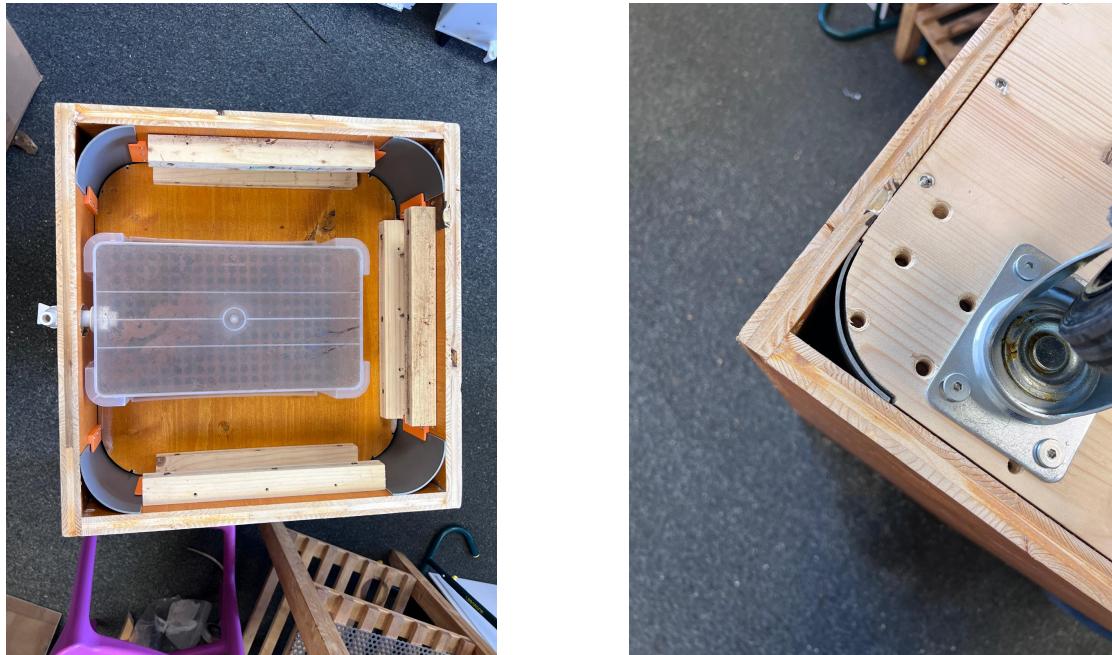
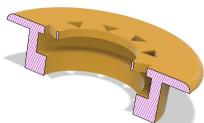


FIGURE 2.3 – A gauche, les tubes dans les coins dans la partie inférieure du lombricomposteur et à droite l'adaptation de la planche de fond

2.3.3. Assemblage

L'assemblage commence par la fixation des tubes supérieurs, suivie de la mise en place des tubes inférieurs. Les plaques intermédiaires ont été réinstallées après la reconstruction des tasseaux en bois. Le bac de récupération des liquides a été remis en place, puis l'étage inférieur ainsi que les roues situées à la base du lombricomposteur.



Enfin, des capuchons réalisés en CAO ont été installés sur la face supérieure du prototype. Ces pièces comprennent un compartiment destiné à accueillir un filtre à charbon actif.

Pour l'installation, nous avons percé le couvercle supérieur avec une scie cloche pour y inclure en force les pièces imprimées en PLA. Le filtre n'est pas collé dans son logement pour permettre de le remplacer.



FIGURE 2.4 – Mise en place dans le lombricomposteur

2.4. La suite : les tests à effectuer

La suite du projet consiste à réaliser une série de tests expérimentaux afin d'évaluer l'efficacité du prototype. L'idée serait de mettre du compost dans le prototype et d'effectuer des mesures de température pour vérifier la stabilité thermique prédictive par la modélisation. Des tests d'humidité sont également à effectuer afin de quantifier la capacité du système d'aération à évacuer l'excès d'eau produit par la décomposition.

Ces mesures permettront de déterminer si le flux d'air généré le long des tubes assure des conditions de compostage optimales. À terme, des tests complémentaires pourront être envisagés, comme le suivi de l'activité des vers, la vitesse de décomposition ou encore l'analyse de la qualité du lombricompost obtenu. L'ensemble de ces résultats permettra de valider ou d'ajuster le prototype.



FIGURE 2.5 – Rendu final du prototype

Chapitre 3

Prototype 2 : Évacuation d'air centrale

3.1. Idée du prototype

Le prototype consiste en l'intégration d'un tube au centre du lombricomposteur, traversant ce dernier de bas en haut. La paroi du tube est perforé à intervalles réguliers là où elle est en contact avec la matière composté afin de garantir un évacuation de l'humidité. Une ajoute une membrane au niveau de ces trous pour éviter le passage de vers ou de déchets dans le tube. De plus le tube doit être facilement démontable afin de faciliter l'entretien du lombricomposteur. Voici un premier schéma de notre idée :

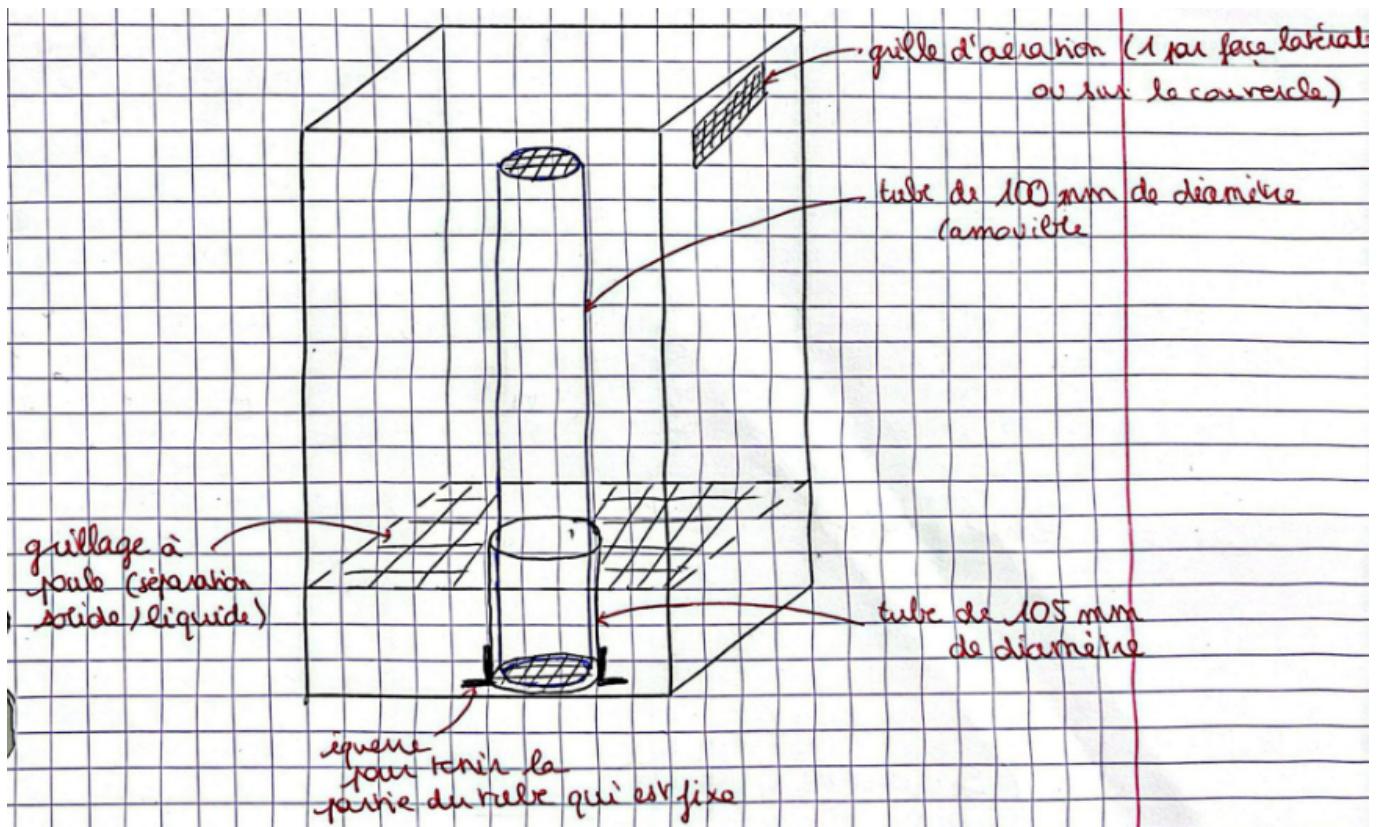


FIGURE 3.1 – Premier schéma du prototype

3.2. Modélisation 3D :

Voici le modèle fusion 3D associé à notre solution :

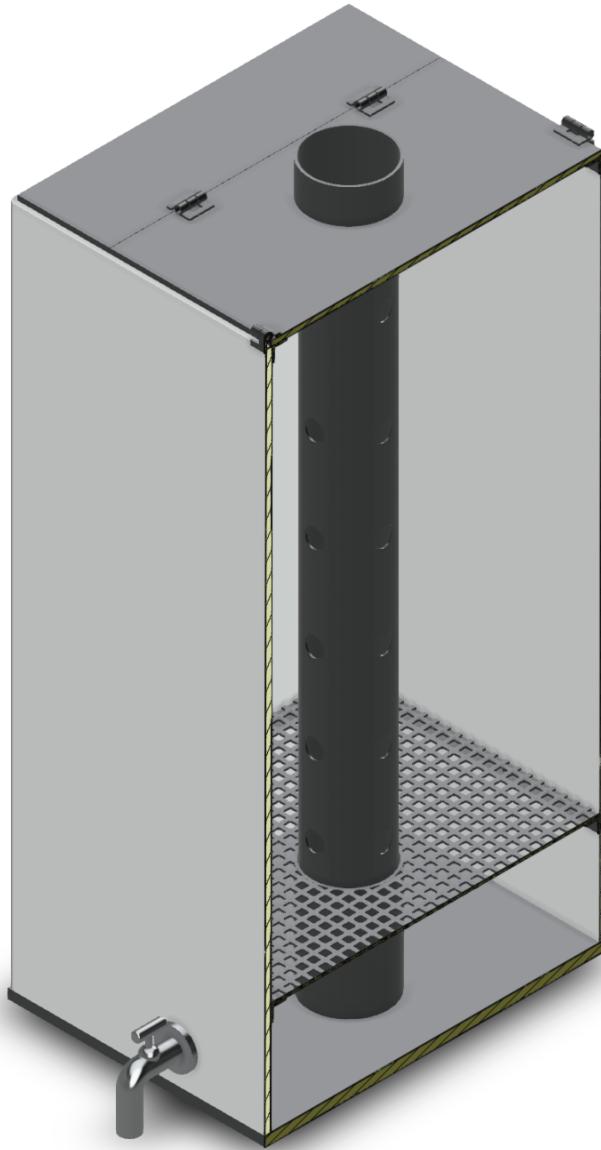


FIGURE 3.2 – Capture Fusion 360 de la modélisation

3.3. Conception

Le prototype devant être réalisé sur l'ancien type de composteur (celui en bois), nous avons du revoir quelques points techniques :

- Absence de grille d'aération latérale => perforation du couvercle afin d'y intégrer le tube.
- Présence d'un bac pour recueillir le jus de compost entre la plaque de bois perforée (remplacer par du grillage à poule sur les nouveaux modèles) et le fond du composteur => retrait du bac à jus, ajout d'une bassine sous le lombricomposteur (l'ancien modèle comportant des roues).

Voici la liste du matériel que nous avons utilisé pour implanter notre solution :

- Un tube en PVC de diamètre 100mm découpé à la scie circulaire (pour ajuster la taille) et percé avec un foret de gros diamètre pour permettre le passage et la circulation de l'air.
- Une membrane en maille en acier inoxydable qui empêche le passage des lombrics tout en garantissant l'aération. Elle sera collée à l'intérieur du tube à l'aide de colle chaude.
- Deux manchons à butée : un premier implanté entre la plaque de bois perforé (équivalent du grillage à poule de la nouvelle version) et le sol du composteur ; un deuxième servant de guidage du tube au niveau du couvercle
- Un nouveau couvercle en bois que nous avons coupé en deux parties : une assurant la fixation du tube au niveau du couvercle et une mobile pour faciliter l'introduction de déchets

- Deux charnières assurant la liaison entre les deux parties du couvercle
- Deux fermetures à levier permettant de fixer la partie du couvercle assurant le guidage du tube tout en garantissant un démontage facile du système

3.4. Réalisation

Pour la réalisation, nous avons disposé des outils du Fablab de l'IMT atlantique ainsi que de l'atelier de Terre Vorace, qui nous ont permis de modifier le lombricomposteur qui nous a été fourni et d'usiner les nouvelles pièces.

3.4.1. Usinage

Les usinages réalisés durant ce projet sont :

- la découpe du tube en PVC à la scie circulaire
- la perforation du tube avec un foret de gros diamètre
- la perforation d'un trou de un peu plus de 100 mm de diamètre des deux sols du lombricomposteur, à la scie sauteuse puis arrondi à la lime
- la découpe du couvercle à la scie circulaire
- la perforation d'un trou de un peu plus de 100 mm de diamètre dans la partie guidage du couvercle (à la perceuse : en trouant le matériel à intervalles courts tout le long du cercle prédéfini, pour un résultat plus propre qu'à la scie sauteuse)

La deuxième grande partie du travail a été d'assembler toutes les parties de notre prototype

3.4.2. Assemblage



On a commencé par fixer le manchon à butée entre le sol du composteur et la planche de bois perforée. Pour cela, nous avons décidé de faire reposer le manchon sur le sol du lombricomposteur (le trou de ce dernier ayant un diamètre légèrement inférieur à celui du manchon). Le manchon est ensuite glissé dans la plaque en bois perforée de manière à ce qu'il soit à ras de la planche et fixé avec de la colle.

FIGURE 3.3 – Mise en place du guidage inférieur

Nous avons ensuite travaillé sur le couvercle. Nous avons implanté le guidage du tube grâce à un deuxième manchon, fixé lui avec des équerres :



FIGURE 3.4 – Mise en place du guidage supérieur

Puis nous avons assemblé les deux morceaux du couvercle grâce à deux charnières, qui permettent l'ouverture facile du compost pour l'introduction des déchets.

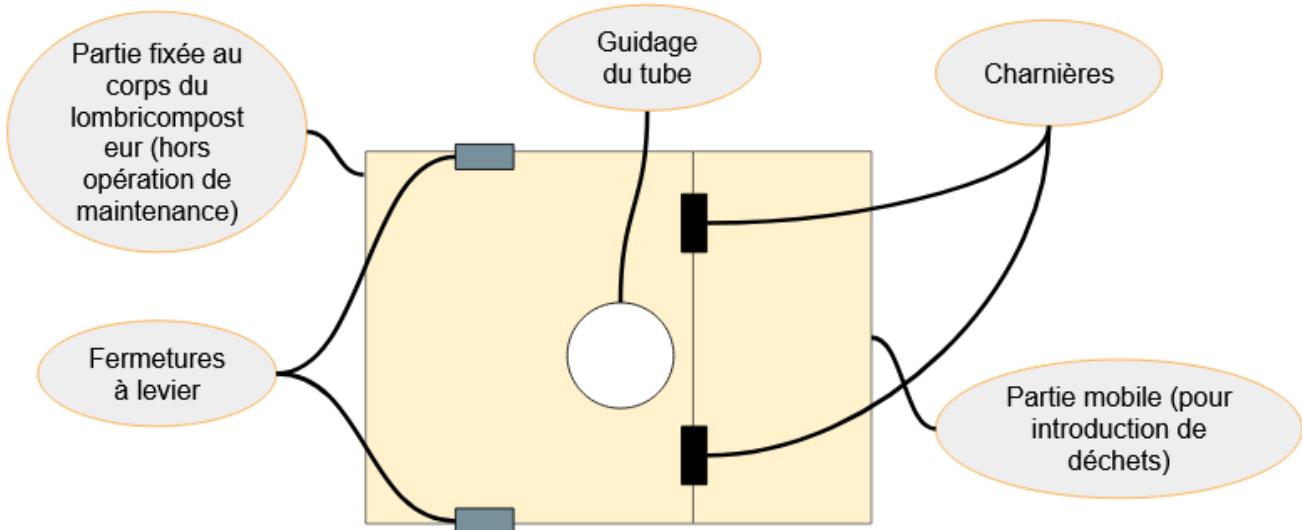


FIGURE 3.5 – Schéma du couvercle fini

Nous avons ensuite vérifié que tous les éléments s'emboîtaient comme attendu avant d'ajouter les deux fermetures à levier, qui permettent de fixer le couvercle au corps du lombricomposteur, tout en assurant un démontage facile lors des interventions de maintenance.

Nous avons ensuite vérifié que le retrait du tube central était facile, puis la réimplantation, afin d'être sur que ce système d'aération ne gêne pas l'opérateur lors des opérations de maintenance.

3.5. La suite : les tests à effectuer

La suite du projet consiste à réaliser une série de tests expérimentaux afin d'évaluer l'efficacité du prototype. Des mesures de température devront être effectuées pour vérifier la stabilité thermique prédictive par la modélisation et identifier d'éventuelles zones chaudes ou insuffisamment ventilées. Des tests d'humidité sont également à effectuer afin de quantifier la capacité du système d'aération à évacuer l'excès d'eau produit par la décomposition.

Ces mesures permettront de déterminer si le flux d'air généré le long des tubes assure des conditions de compostage optimales. À terme, des tests complémentaires pourront être envisagés, comme le suivi de l'activité des vers, la vitesse de décomposition ou encore l'analyse de la qualité du lombricompost obtenu. L'ensemble de ces résultats permettra de valider ou d'ajuster le prototype.

Prototype 3 : Aérateur pour compost

4.1. Idée de la solution

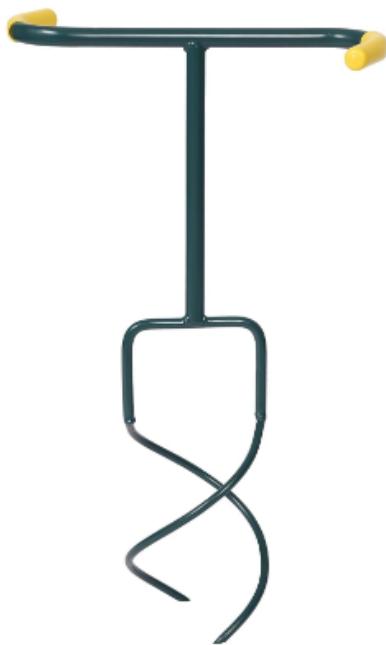


FIGURE 4.1 – Aerateur pour Compost

Notre idée initiale pour cette solution résidait dans sa facilité d'utilisation et sa mise en place. Le but de notre groupe était de trouver la meilleure manière d'aérer notre composteur afin d'en évacuer l'humidité, et donc éviter l'accumulation de celle-ci.

Il nous est donc immédiatement venu à l'esprit de simplement mélanger le contenu du composteur afin d'éviter une accumulation localisée d'humidité. Dans ce cadre et afin d'assurer la qualité low-tech de la solution, l'aérateur de compost s'est avéré parfait.

Fonctionnalités principales :

Il s'agit de remuer (sans mouvement brusque) le compost environ une fois par mois surtout au milieu du composteur, là où l'aération se fait le moins bien.

- **Activité microbienne** : cela permet de répartir les vers et les micro-organismes afin que le compostage se fasse partout et soit donc plus efficace.
- **Favorise la circulation de l'air** : cela réduit les mauvaises odeurs qui s'accumulent au centre, optimise le compost qui est un processus aérobie.
- **Réduit l'humidité** : l'humidité qui s'accumule au centre peu ainsi s'évacuer et cela permet d'obtenir un meilleur compost.

4.2. Pourquoi cet aérateur ?

La question de "Pourquoi cet aérateur et pas un autre?" s'explique largement par le prix, et la facilité d'utilisation de l'aérateur "Leborgne" étant celui que nous avons acheté. Il n'est pas forcément parmi les moins cher mais il est l'aérateur alliant le meilleur rapport qualité-prix.

100 % des commentaires des personnes ayant utilisé cet aérateur sont positifs, et c'est pour cela que notre choix s'est penché sur celui-ci.

Pour environ 35 euros, on a un aérateur de compost utilisable pour des gros volumes (ce qui est notre cas pour les composteurs de TerreVorace), facile d'utilisation même pour des personnes n'étant pas particulièrement physiquement forte grâce à son système d'utilisation "tournevis", en enfin, une longueur réglable.

Enfin, le gros avantage de cet aérateur et de cette solution de manière générale, c'est que cet aérateur n'a besoin d'être utilisé qu'une à 2 fois par mois pour être viable.



FIGURE 4.2 – utilisation de l'aérateur

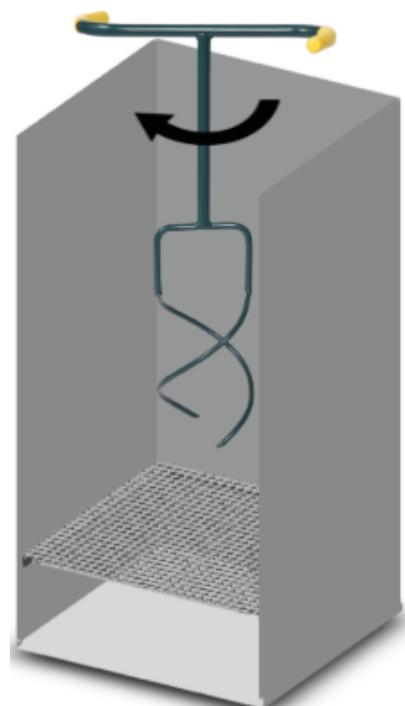


FIGURE 4.3 – Utilisation de l'aérateur vue de côté

4.2.1. Comment amortir le prix de l'aérateur ?

Concernant la manière d'implémenter l'aérateur dans le businessmodel de TerreVorace, et ainsi amortir facilement cette solution d'aération, il existe 2 solutions simples :

- Augmenter de 10 € par mois le prix de l'abonnement de manière définitive afin d'assurer un aérateur pour chacune des entreprises qui vont commander cet aérateur.
- Ou bien, augmenter de 10 € le prix de l'abonnement, mais en le faisant en proposant cet aérateur comme une feature, cela limiterait le nombre d'aérateur à acheter et permettrait d'ajouter un aspect "premium" à cette solution d'aération.

4.2.2. Combiner les solutions 1 et 3 !

Enfin, il est tout à fait possible de songer à la combinaison des solutions 1 et 3 pour une aération optimale. L'aération n'en serait que meilleure, pas d'accumulation d'humidité au centre du compost, une aération optimale, et quasiment pas d'augmentation du coût pour TerreVorace.

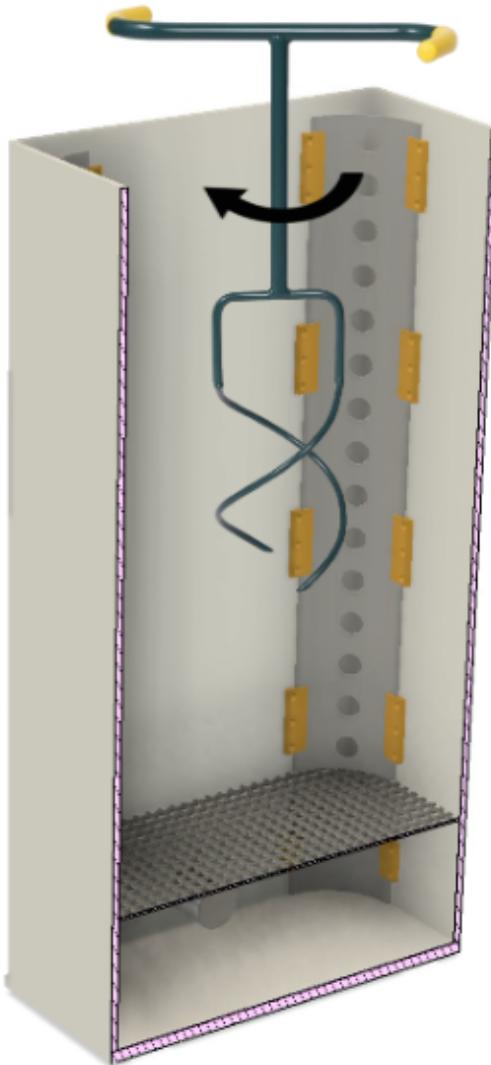


FIGURE 4.4 – Combinaison des solutions

4.3. La suite : les tests à effectuer

De même que pour les autres solutions, une série de tests expérimentaux sont encore à réaliser afin d'évaluer l'efficacité de la solution, la préservation d'un bon environnement et de confirmer une utilisation mensuelle ou bi-mensuelle de l'aérateur afin d'apporter une consigne précise aux potentiels clients de Terre Vorace.

Bibliographie

- [1] Conseil pour l'utilisation d'aérateur de compost : <https://plus2vers.com/fr/faut-il-remuer-son-lombricompost-voici-nos-conseils/>
- [2] Aérateur du marché 1 : <https://www.leborgne.fr/outils-professionnels/griffes-cultivateurs-et-tire-ligne/aerocompost-naturovert-.html>
- [3] Aérateur du marché 2 : <https://www.leborgne.fr/outils-professionnels/biogrif-et-rotogrif-/rotogrif-4-dents.html>
- [4] Aérateur du marché 3 : https://www.signals.fr/aerateur-compost.html?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=FRA%20%7C%20FR%20%7C%7C%20PLA%20%7C%20NB%20%7C%20%7B99%20-%20All%20Products%7D%20-%20%2802%20-%20PMax%29%20%7C%20GEN%20%7C%2002GG&gad_source=1&gad_campaignid=18179579717&gbraid=0AAAAADk7CR5YT0Ezql7mVgGzMTyGL1M8F&gclid=Cj0KCQjw9czHBhCyARIsAFZlN8SeFIy07Q4n9GQB0IovYUHA1FI06HDpiHcjfz1652mXyaN7IRvRNxIaArP3EALw-wcB#10MFM100

OUR WORLDWIDE PARTNERS UNIVERSITIES - DOUBLE DEGREE AGREEMENTS



3 CAMPUS, 1 SITE



IMT Atlantique Bretagne-Pays de la Loire – <http://www.imt-atlantique.fr/>

Campus de Brest

Technopôle Brest-Iroise
CS 83818
29238 Brest Cedex 3
France
T +33 (0)2 29 00 11 11
F +33 (0)2 29 00 10 00

Campus de Nantes

4, rue Alfred Kastler
CS 20722
44307 Nantes Cedex 3
France
T +33 (0)2 51 85 81 00
F +33 (0)2 99 12 70 08

Campus de Rennes

2, rue de la Châtaigneraie
CS 17607
35576 Cesson Sévigné Cedex
France
T +33 (0)2 99 12 70 00
F +33 (0)2 51 85 81 99

Site de Toulouse

10, avenue Édouard Belin
BP 44004
31028 Toulouse Cedex 04
France
T +33 (0)5 61 33 83 65



IMT Atlantique

Bretagne-Pays de la Loire
École Mines-Télécom