

ÉVALUATION DE LA PERFORMANCE D'UN COMPOSTEUR ROTATIF THERMOPHILE DE BROME COMPOST SUR UNE FERME MARAÎCHÈRE

21-005-2.2-RV-PHYD

DURÉE DU PROJET : AVRIL 2021 / MARS 2024

RAPPORT FINAL

Réalisé par :
Carl Dion Laplante, agr., Phytodata
Travis Ahearn, BROME Compost
Guillaume Cloutier, Delfland

1^{er} mars 2024

Les résultats, opinions et recommandations exprimés dans ce rapport émanent de l'auteur ou des auteurs et n'engagent aucunement le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation.

TITRE DU PROJET : ÉVALUATION DE LA PERFORMANCE D'UN COMPOSTEUR ROTATIF THERMOPHILE DE BROME COMPOST SUR UNE FERME MARAÎCHÈRE

NUMÉRO DU PROJET : 21-005-2.2-RV-PHYD

RÉSUMÉ DU PROJET

La production maraîchère génère des résidus végétaux qui, lorsqu'ils ne sont pas valorisés ou recyclés, présentent des risques pour la protection des cultures, la salubrité des aliments, et pour l'environnement. Le compostage est un procédé contrôlé de décomposition de la matière organique et permet d'éliminer ces risques et d'obtenir un produit, le compost, permettant d'améliorer la qualité des sols. On constate cependant que l'information et l'expertise disponible pour les producteurs agricoles et les agronomes est limitée, ce qui peut agir comme un frein à l'adoption du compostage. Le compostage de résidus végétaux à la ferme présente des défis qui demandent une approche adaptée aux réalités du secteur maraîcher, notamment au niveau de la nature des résidus végétaux à composter, qui sont riches en eau et en azote, au niveau des risques de contamination des légumes pour la transformation, et finalement au niveau de la disponibilité des matériaux structurants disponibles à la ferme pour le compostage.

C'est pourquoi l'objectif général de ce projet était d'évaluer les performances technique, économique et environnementale d'un composteur rotatif thermophile dans une entreprise en production maraîchère. Le projet avait aussi comme objectif secondaire d'évaluer l'innocuité environnementale de l'utilisation de carton dans le compostage à la ferme. Pour ce faire, un total de 11 fournées de compost ont été produites en 2021 et 2022 à l'aide d'un composteur rotatif à partir de bois, de carton et de bulbes et pelures d'échalotes françaises. Plusieurs paramètres ont été mesurés de 2021 à 2023 sur les mélanges d'intrants, le compost immature à la sortie du composteur rotatif, et le compost mature après une phase de compostage en amas au sol.

Le projet a permis de constater que le composteur rotatif permet d'amorcer le processus de compostage lorsqu'il est utilisé à pleine capacité comme c'était le cas chez l'entreprise participante. L'ajustement de la fréquence de rotation du cylindre et de la ventilation du composteur s'est avéré crucial afin de maintenir une température élevée dans le composteur. Après une phase de compostage en amas au sol, le compost produit répondait aux critères visés, notamment pour les composts contenant du carton, dont l'innocuité environnementale a été démontrée. Des recommandations sont proposées afin d'améliorer la qualité du compost et d'optimiser le processus de compostage. L'analyse économique a montré que cette méthode de compostage est dispendieuse, mais peut tout de même être une solution avantageuse selon les objectifs de l'entreprise et l'aide financière disponible. Les exigences et démarches réglementaires s'appliquant à différents scénarios de compostage à la ferme sont explorées. Avec ces nouvelles connaissances, les producteurs maraîchers et leurs conseillers et conseillères seront mieux outillés pour planifier les projets de compostage à la ferme. Un guide destiné aux producteurs et conseillers sera produit afin d'expliquer l'utilisation du composteur et les aspects économiques et légaux de cette méthode de compostage.

OBJECTIFS ET APERÇU DE LA MÉTHODOLOGIE

Objectifs

L'objectif général du projet était d'évaluer les performances technique, économique et environnementale d'un composteur rotatif thermophile dans une entreprise en production maraichère. Plus précisément, le projet visait à faire le suivi environnemental et évaluer la qualité de différents composts de résidus végétaux contenant des copeaux de bois et/ou du carton, et de documenter les considérations réglementaires auxquelles le producteur doit se conformer. La première année du projet visait principalement à optimiser l'utilisation du composteur et la composition des mélanges d'intrants selon les matières utilisées (échalotes, pelures d'échalotes, bois et carton). Les évaluations de la performance technique du composteur et de l'innocuité environnementale des composts ont surtout été réalisées sur les composts produits durant la deuxième année du projet.

Présentation de la ferme et du système de compostage

Le projet a été réalisé à la ferme Delfland, située à St-Cyprien-de-Napierville. Delfland est une entreprise maraichère cultivant l'oignon sec, l'échalote française, la laitue, la carotte, le radis chinois et la patate douce en sols organiques et minéraux. L'entreprise produit environ 2500 tonnes d'échalotes françaises par année, générant environ 534 m³ de résidus végétaux lors de l'emballage des échalotes, qui est effectué en continu durant toute l'année. L'entreprise possède aussi des boisés générant des copeaux de bois lors de leur entretien.

Le composteur rotatif utilisé sur l'entreprise était le modèle 632 de Brome Compost, un composteur modulaire possédant un cylindre étanche de 1,93 m de diamètre et de 9,7 m de long, pour un volume interne total d'environ 30 m³. Le fabricant évalue que ce modèle peut traiter entre 180 et 240 tonnes de résidus par année, pour une utilisation en continu. Dans ce type de composteur rotatif, le mélange d'intrants est ajouté à une extrémité du composteur et se dirige graduellement, tout en se compostant, vers la sortie située à l'autre extrémité du composteur, où le compost (mature ou non, selon les paramètres utilisés) émerge par petites quantités à chaque rotation complète du cylindre. La durée de rétention du mélange dans le composteur dépend donc de la vitesse de rotation du cylindre, qui est effectuée par un moteur électrique contrôlé par une minuterie programmable. Afin de maximiser les conditions favorables au compostage, le cylindre est entouré d'une matière isolante retenant la chaleur, et est aussi équipé d'un système de ventilation. Le suivi de la température interne du composteur est effectué par une sonde incluse dans l'équipement. La fréquence de rotation et la ventilation du cylindre peuvent être ajustées afin de maintenir une température adéquate dans le cylindre. La ferme a aussi fait l'acquisition d'un mélangeur d'intrants d'environ 5 m³ à pleine capacité afin d'assurer l'uniformité du mélange avant l'entrée dans le composteur. Des convoyeurs transféraient le mélange d'intrants du mélangeur au composteur, et du composteur à une dalle de béton protégée par un dôme. Considérant le volume important de résidus végétaux à traiter sur la ferme, le compost n'était pas mature à la sortie du composteur et le processus de compostage devait se poursuivre en amas dans une aire de maturation nivelée avec du sable compacté. L'Annexe 1 présente les différentes étapes et les équipements utilisés dans ce projet.

Procédure générale de suivi

Puisque des mélanges d'intrants contenant différentes matières structurantes (bois et/ou carton) étaient comparés dans ce projet, les composts produits ont été séparés par fournée. Chaque fournée ne contenait qu'un type de mélange d'intrants (avec bois, carton ou les deux), et ne devait pas être mélangée avec les autres fournées jusqu'à maturité du compost. Cependant, les composteurs rotatifs sont moins efficaces lorsqu'ils sont laissés à vide entre les fournées de compost. Ainsi, les fournées étaient séparées visuellement, selon la présence des matières structurantes dans le compost à la sortie du composteur (présence ou absence de bois et de carton, selon le mélange). Une nouvelle fournée commençait donc

là où les matières structurantes changeaient. Il est possible qu'un peu de « contamination » ait eu lieu entre deux fournées successives, mais pas assez pour fausser les résultats et leur interprétation.

Afin de faire le suivi de la performance technique et environnementale du composteur, des prises de mesure et d'échantillons étaient réalisées à trois moments charnières : sur les intrants mélangés à l'entrée du composteur, sur le compost immature à la sortie du composteur, et sur le compost mature. Pour chaque fournée, les paramètres physiques et chimiques du mélange d'intrants étaient mesurés à l'entrée du composteur. Ensuite, la température était mesurée à l'intérieur du cylindre durant le compostage. À la sortie du composteur, chaque fournée était déposée en un amas distinct et identifié dans une aire de maturation, et les paramètres physiques et chimiques étaient mesurés de nouveau pour le compost immature. Lorsque la maturité du compost était constatée, les paramètres physiques, chimiques et microbiologiques étaient mesurés. Pour l'analyse des corps étrangers, des paramètres chimiques et des paramètres microbiologiques, les échantillons prélevés sur les composts immatures et matures suivaient le protocole DR-12-MRF-02 pour les MRF produits en discontinu (CEAEQ, 2019). Le schéma de la procédure générale de suivi et le Tableau des paramètres mesurés sont présentés à l'Annexe 2.

Le projet prévoyait initialement la réalisation de huit fournées de compost par an, dont trois avec carton chaque année, mais le nombre visé a été réduit à six fournées par an, dont trois avec carton, après la première année du projet. Par manque de matériaux structurants (carton, bois), seulement onze fournées ont pu être produites en tout, soit six en 2021 et cinq en 2022, à raison de cinq composts avec bois, trois composts avec carton, et trois composts avec carton et bois. De ce nombre, une fournée a été perdue avant la prise de mesures prévue sur le compost immature, une fournée a été mélangée à une autre, et trois fournées ont été perdues avant les évaluations sur le compost mature. Ainsi, sept composts ont pu être suivis jusqu'à maturité, dont trois composts avec bois, deux avec carton, et un avec bois et carton. La composition des fournées et leur devenir sont présentés au Tableau 1.

Tableau 1. Année de production, composition et devenir des fournées de compost produites

Fournée	Année	Composition	Devenir
1	2021	Bois	Perdue au stade immature, mélangée à des résidus de bois
2	2021	Carton	Perdue durant la maturation, mélangée avec des résidus végétaux frais
3+4	2021	Bois + carton	Suivie jusqu'à maturité
4	2021	Bois + carton	Mélangée avec la fournée 3 durant la maturation
5	2021	Bois	Suivie jusqu'à maturité
6	2021	Bois	Suivie jusqu'à maturité
7	2022	Carton	Suivie jusqu'à maturité
8	2022	Bois + carton	Perdue durant la maturation, épandue au champ
9	2022	Bois	Perdue durant la maturation, épandue au champ
10	2022	Carton	Suivie jusqu'à maturité
11	2022	Bois	Suivie jusqu'à maturité

Intrants : origine, entreposage, paramètres évalués

Les résidus végétaux compostés étaient des bulbes d'échalote française rejetés à l'emballage pour diverses raisons (maladie, désordre, calibre) et des pelures d'échalotes séparées des bulbes durant le processus d'emballage. Les matériaux structurants utilisés étaient soit du bois de feuillu obtenu par l'entretien des arbres sur la ferme, soit du carton provenant des opérations de la ferme. Le carton a été choisi comme agent structurant d'intérêt puisqu'il est riche en carbone et très absorbant, ce qui peut être très avantageux

dans un compost de résidus de légumes ayant une forte teneur en eau et un rapport C/N très faible. C'est aussi un matériau disponible sur la plupart des fermes maraichères dans la région, qui peuvent générer une quantité importante de carton comme matière résiduelle pour le transport et l'emballage des légumes. Les pelures n'étaient pas considérées comme un agent structurant, mais leur proportion dans le mélange variait en fonction de la quantité de bois et/ou de carton. La composition des composts produits est présentée au Tableau 2.

Tableau 2. Proportion des intrants, sur base massique, dans chaque compost produit

Fournée	Composition	Proportion des intrants (%)			
		Bois	Carton	Échalotes	Pelures
1	Bois	32	0	57	11
2	Carton	0	18	59	23
3+4	Bois + carton	14	11	54	21
5	Bois	45	0	49	6
6	Bois	50	0	46	4
7	Carton	0	12	61	28
8	Bois + carton	19	8	55	18
9	Bois	41	0	48	11
10	Carton	0	16	68	16
11	Bois	42	0	47	11

Aucun intrant n'était stocké avant d'être introduit dans le composteur, à l'exception du bois qui pouvait être stocké pendant plusieurs jours sous une bâche sur une surface asphaltée étanche (Annexe 1, Figure A2). Les bulbes et les pelures d'échalotes étaient utilisés au fur et à mesure qu'ils étaient générés à la ligne d'emballage se trouvant dans un entrepôt non loin du composteur.

Le carton, lorsqu'utilisé, était trié et nettoyé dans l'entrepôt avant d'être ajouté au mélangeur. Il était principalement constitué de boîtes sans agrafe ni adhésif qui étaient placées dans une boîte de bois à l'intérieur d'un entrepôt, jusqu'à son utilisation pour le compost. Lorsque le carton utilisé comportait du ruban adhésif, celui-ci était manuellement retiré du carton par un travailleur. Il était donc possible que des morceaux de ruban adhésif soient introduits dans le compost. Les autocollants en papier n'étaient pas retirés du carton, si présents.

Pour la préparation du mélange d'intrants, le carton et le bois étaient ajoutés en premiers, suivis des bulbes et pelures d'échalotes, et le tout était mélangé pendant plusieurs heures, jusqu'à ce que le mélange d'intrants soit uniforme. Le poids de chaque intrant était mesuré à l'aide d'une balance installée à même le mélangeur. De 17 à 49 volumes de mélangeur ont été nécessaires pour obtenir un amas de compost de volume suffisant par fournée, soit 22 à 38 jours par fournée entre le premier et le dernier ajout d'intrants.

Pour chaque fournée, les paramètres physiques (volume, densité, teneur en eau) et chimiques (concentration en nutriments, matière organique, rapport C/N, bore) du mélange d'intrants ont été mesurés. Les intrants étaient échantillonnés à l'entrée du composteur, par une trappe aménagée dans la paroi du cylindre. Par souci de simplicité, le volume des intrants a été estimé en fonction du nombre de mélangeurs vidés par fournée (volume de 5 m³ et environ aux trois-quarts plein). La densité était mesurée à l'aide de la technique de la chaudière utilisée pour les fumiers. Un échantillon de 500 mL était prélevé et envoyé en laboratoire pour l'analyse des nutriments, de la teneur en eau, de la matière organique et du

rapport C/N. Lorsque du carton était utilisé comme matière structurante, cet échantillon servait aussi pour l'analyse du bore. Les critères visés pour le mélange d'intrants était une densité entre 475 et 715 kg/m³ pour assurer une bonne porosité, une teneur en eau allant de 40 à 65% et un rapport C/N entre 20 et 40, afin de favoriser une bonne activité microbienne (Beauchamp et Lessard, 2014). Les paramètres mesurés et les critères visés sont résumés à l'Annexe 2.

Compostage : paramètres évalués

Durant l'étape de compostage actif à l'intérieur du composteur rotatif, la température du compost était mesurée environ tous les trois jours au milieu du cylindre à l'aide d'une sonde OT Probe (Green Mountain Technologies, Washington) en 2021. Les températures mesurées à l'aide de la sonde OT Probe correspondaient à celles mesurées avec la sonde intégrée au composteur. Cette dernière a donc été utilisée pour le suivi de la température en 2022, après le bri de la sonde OT Probe. La température du compost devait être maintenue entre 55°C et 70°C afin d'assurer l'hygiénisation du compost (Potvin, 2024). Les intrants étaient compostés de 4 à 5 jours avant d'émerger à la sortie du composteur. Les paramètres mesurés et les critères visés sont résumés à l'Annexe 2.

Compost immature : entreposage, paramètres évalués

La maturation du compost se déroulait principalement dans une aire de maturation aménagée sur une surface compacte (sol compacté). Chaque fournée était disposée en un amas distinct et identifiée par un numéro. Afin de limiter le lessivage des nutriments et la génération de lixiviat, les amas étaient recouverts d'une membrane respirante qui protégeait les composts de l'eau de pluie tout en permettant les échanges gazeux. Les distances d'entreposage étaient respectées (15 mètres des fossés; Tableau 9.1 du Guide MRF), et le site avait la capacité de recevoir tous les andains générés pour la durée du projet. Les amas étaient retournés à l'aide d'une pelle mécanique à tous les 30 à 60 jours.

Lorsqu'une fournée complète avait été formée en amas, les paramètres physiques (volume, densité, teneur en eau) et chimiques (concentration en nutriments, matière organique, rapport C/N) du compost immature étaient mesurés. Afin d'évaluer la réduction de volume après le passage dans le composteur, le volume de l'amas était déterminé en mesurant les dimensions. La densité était mesurée par la technique de la chaudière en prélevant le compost à au moins 10 endroits dans l'amas, à une profondeur d'au moins 30 cm. Pour chaque fournée, un échantillon composite de 500 mL était formé à partir de 10 à 12 sous-échantillons pour l'analyse des paramètres chimiques. Le bore n'était pas analysé à cette étape. Aucun critère spécifique n'était visé pour les paramètres mesurés à cette étape, à l'exception d'une densité entre 475 et 715 kg/m³ pour une bonne porosité et une teneur en eau entre 40 et 60% afin de minimiser la lixiviation et de permettre une bonne aération du compost, tel qu'indiqué dans le guide MRF (Hébert, 2015). Les paramètres mesurés et les critères visés sont résumés à l'Annexe 2.

Compost mature : maturité, paramètres évalués

Lorsque la température de l'amas avait diminué, un échantillon d'environ deux litres était prélevé suivant la méthode utilisée pour la densité (10 puits d'échantillonnage par amas) et placé dans un contenant isotherme avec un thermomètre. La température du compost était suivie pendant 7 jours, la maturité étant atteinte si le compost se stabilisait à une température ayant 8°C ou moins d'écart avec la température ambiante (test d'auto-échauffement de Dewar; Brinton et al., 1995). La maturité était ensuite confirmée à l'aide d'un test de maturité du compost Solvita (Woods End Laboratories, Maine) à partir d'échantillons prélevés selon le protocole DR-12-MRF-02 du CEAEQ. Selon le guide d'interprétation du test Solvita, un indice de maturité de 7 ou 8 est visé pour un compost mature, bien qu'un compost de maturité 6 soit adéquat pour l'épandage en champ.

Lorsque le compost était mature, les paramètres physiques (volume, densité, teneur en eau, corps étrangers), chimiques (concentration en nutriments, matière organique, rapport C/N, bore, ETI) et biologiques (phytopathogènes, *E. coli* et salmonelles, mauvaises herbes) du compost étaient mesurés. Les échantillons servant à la quantification des *E. coli* et salmonelles étaient prélevés en premier afin de limiter les risques de contamination. Deux échantillons composites d'un litre chacun étaient prélevés dans des sacs stériles et conservés au frais jusqu'à leur envoi au laboratoire. Le volume de l'amas et la densité du compost étaient mesurés selon la même procédure que pour le compost immature. Pour l'analyse des corps étrangers, un échantillon de deux à trois litres (sac Ziploc de type congélateur plein) était prélevé dans les 10 puits d'échantillonnage servant à la mesure de la densité. Pour chaque fournée, deux à quatre échantillons composites de 500 mL étaient prélevés : un pour l'analyse des nutriments (et du bore, si le compost contenait du carton), un pour la quantification des phytopathogènes, et deux pour l'analyse des ETI pour les composts avec carton. Les phytopathogènes suivants ont été analysés par PCR quantitatif : *Fusarium oxysporum* sp. *cepae*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Stemphylium vesicarium*, *Peronospora destructor* et *Botrytis squamosa*. Finalement, un échantillon d'environ trois litres était prélevé pour l'évaluation des mauvaises herbes. L'échantillon était placé dans un plateau pour semis puis conservé à température ambiante et maintenu humide pendant 7 jours afin d'évaluer la croissance de mauvaises herbes. Les critères visés pour le compost mature étaient une densité entre 440 et 580 kg/m³ (Ozores-Hampton, 2017), une teneur en eau de moins de 70% (Hébert 2015), un taux de matière organique d'au moins 40%, un rapport C/N entre 10 et 25 (Ozores-Hampton, 2017), une bonne rétention ou concentration des nutriments et l'absence de mauvaises herbes et de phytopathogènes. Les concentrations en ETI, bore et corps étrangers devaient respecter les seuils des Tableaux 8.2a, 10.1 et 8.6a du Guide MRF, et au moins deux échantillons sur trois devaient être exempts de salmonelles (Tableau 8.3 du Guide MRF). Les paramètres mesurés et les critères visés sont résumés à l'Annexe 2.

RÉSULTATS SIGNIFICATIFS OBTENUS

Performance technique

- Densité

Dans l'ensemble, les mélanges d'intrants avaient une densité inférieure à l'intervalle visé, à l'exception de la plupart des fournées contenant du bois (Annexe 3, Tableau A2). Ces résultats ne sont pas très surprenants, puisque les pelures d'échalotes sont un intrant très léger tandis que le bois est très lourd, et les mélanges avec bois contenaient la plus petite proportion, sur la base du poids, de pelures d'échalotes. Les mélanges avec une plus grande proportion de pelures étaient souvent difficiles à tasser lors de la mesure avec la technique de la chaudière, ce qui a pu fausser les résultats. Dès la sortie du composteur, la plupart des fournées obtenaient une densité dans l'intervalle visé, les pelures d'échalotes s'étant déjà principalement décomposées à ce stade (Annexe 1, Figure A9). Certaines fournées avec bois étaient trop denses, alors que des fournées avec carton demeuraient trop légères, mais la plupart des mélanges semblaient appropriés pour la suite du processus de compostage et de maturation à l'extérieur du composteur. À maturité, la densité de tous les composts mesurés dépassait la valeur maximale visée, malgré une teneur en eau de 70% ou moins.

- Teneur en eau

La teneur en eau des intrants se trouvait dans l'intervalle visé pour presque toutes les fournées, mais était trop élevée dans la moitié des fournées peu après la sortie du composteur, sans toutefois dépasser le seuil de 70% pour la génération de lixiviat (Annexe

3, Tableau A2). Tous les composts matures respectaient la norme de siccité de 30%. Les teneurs en eau trop élevées de certains composts immatures s'expliqueraient par des pluies plus abondantes que prévues lorsque la toile de compostage était retirée. En effet, une quantité importante d'eau peut être perdue par transpiration durant le compostage. Une façon de réhumidifier le compost est de retirer la toile de compostage avant une pluie. Cette méthode est imparfaite puisqu'un excès d'eau peut créer des conditions anoxiques ou anaérobiques dans le compost, en plus de lessiver des nutriments dans l'environnement. Idéalement, si le compost doit être humidifié, l'eau est ajoutée de façon contrôlée jusqu'à obtention de la teneur en eau visée.

- Réduction du volume

Pour toutes les fournées, l'essentiel de la réduction du volume semblait avoir lieu dans le composteur rotatif (Annexe 3, Tableau A2). La décomposition des bulbes et pelures d'échalotes était bien avancée à la sortie du composteur, ce qui expliquerait la forte diminution de volume durant le passage dans le composteur. La réduction du volume des composts avec bois était moins importante ou était retardée, selon la grosseur des morceaux de bois. Pour une ferme maraichère utilisant des intrants similaires à ceux utilisés dans ce projet, une réduction de volume d'environ 50% peut être utilisée afin de prévoir la superficie de l'aire de maturation et d'entreposage du compost.

Cependant, les réductions de volume mesurées peuvent être inexactes parce que le volume des intrants était estimé selon le nombre d'ajouts d'intrants par fournée, en présupant que le mélangeur, d'une capacité de 5 m³, était rempli aux trois-quarts à chaque ajout. Le volume des intrants et la réduction du volume ont donc possiblement été surestimés.

- Rapport C/N

Pour la plupart des fournées, les rapports C/N des mélanges d'intrants étaient plutôt élevés, mais se trouvaient dans l'intervalle visé à la sortie du composteur (Annexe 3, Tableau A2). Il est possible que la méthode d'échantillonnage utilisée n'ait pas permis d'obtenir des échantillons représentatifs des mélanges d'intrants. Les mélanges avec bois avaient souvent un rapport C/N plus élevé (supérieur à 30), ce qui a pu ralentir la vitesse de compostage. Tous les composts matures ont obtenu une valeur inférieure à 25, indiquant qu'il n'y avait pas de risque d'immobilisation de l'azote. Cependant, des morceaux de bois étaient encore visibles dans les composts matures avec bois et pourraient avoir un impact sur la culture si le compost est appliqué à de fortes doses au champ.

- Température et aération dans le composteur rotatif

En 2021, le composteur était programmé pour effectuer une rotation d'un tiers de tour chaque 15 minutes, avec une ventilation réglée au quart de la puissance maximale, afin de permettre une bonne aération du compost. La fréquence de rotation s'est avérée être trop élevée, ce qui faisait diminuer considérablement la température du compost, celle-ci n'atteignant jamais le seuil minimal de 55°C dans toutes les fournées réalisées cette année-là (Annexe 3, Tableau A2). Pour les fournées réalisées en 2022, le composteur effectuait 11 tours complets à toutes les quatre heures, ce qui a permis de maintenir la température du compost dans l'intervalle visé de 55 à 70°C, même en hiver (données non présentées). Bien que quelques rotations seulement auraient été suffisantes afin d'aérer le compost, 11 tours étaient effectués afin de vider un volume suffisant de compost et de permettre l'ajout d'intrants. Cette nouvelle méthode a diminué la fréquence à laquelle des intrants pouvaient être ajoutés au composteur, passant d'un maximum de trois fois par jour en 2021 à deux fois par jour en 2022, ce qui a pu aider à conserver une température élevée.

Ces résultats soulignent l'importance de bien ajuster les paramètres d'utilisation du composteur rotatif pour obtenir des conditions optimales de compostage et d'hygiénisation du compost. Ces ajustements varieront selon les intrants utilisés, le volume et la fréquence d'ajout des intrants, et le temps de rétention du compost dans le composteur. Si un convoyeur n'est pas utilisé à la sortie du composteur, la disponibilité de la main-d'œuvre pour vider le compost produit devra aussi être considérée dans l'ajustement de la fréquence de rotation du cylindre. La méthode utilisée avec succès par l'entreprise en 2022 s'applique aux intrants utilisés dans ce projet, pour des ajouts quotidiens d'intrants et pour une utilisation à pleine capacité du composteur avec convoyeurs.

- **Maturité du compost**

Dans le cas à l'étude, le temps de rétention dans le composteur était trop court (4 à 5 jours) pour que le compost soit mature à la sortie du composteur. Les amas de compost immature demeuraient très chauds pendant plusieurs semaines à l'extérieur du composteur. La différence de température entre le compost et l'air ambiant était de moins de 8°C après environ 40 semaines (test d'auto-échauffement de Dewar). Le test Solvita a confirmé la maturité des composts respectant le test Dewar dans la plupart des cas, sauf pour les composts contenant du bois à cause des morceaux de bois qui n'étaient pas entièrement décomposés. La fournée 7, contenant du carton, représente un cas de maturation plus rapide, où le test Dewar était respecté après 31 semaines, mais pas le test Solvita.

Dans l'ensemble, le temps à maturité était très long, considérant la limite de 500 m³ de matériaux (intrants, matières en compostage et compost mature) par établissement pour un projet exempté d'une autorisation ministérielle (voir la section *Considérations légales*). Il est probable que les amas étaient trop compactés, des signes d'anoxie (couche blanc poudreux) ayant été observés à une profondeur de 10 à 15 cm dans les amas. Afin d'accélérer le processus de compostage et de maturation, différentes stratégies peuvent être utilisées. Pour les composts avec bois, l'entreprise pourrait favoriser les mélanges d'intrants avec un rapport C/N moins élevé et utiliser des morceaux de bois plus petits. Les morceaux de bois non compostés pourraient aussi être tamisés ou déchiquetés de nouveau avant la mise en andain pour accélérer la maturation du compost. À la sortie du composteur, il faudrait éviter de compacter le compost lors de la formation des amas afin de favoriser leur aération en profondeur. Un retournement plus fréquent des amas, ou l'utilisation d'un système d'aération active ou passive, serait aussi à privilégier. Pour une entreprise ayant de plus petits volumes de résidus à composter, le compostage jusqu'à maturité dans le composteur rotatif pourrait être envisagé. Cette stratégie permettrait l'obtention d'un compost presque mature en quelques semaines, mais le stockage des intrants pourrait être nécessaire et une aire de maturation devrait tout de même être aménagée.

Performance environnementale

- **Rétention des nutriments**

Les valeurs obtenues et l'évolution durant le compostage pour l'azote, le phosphore et le potassium sont très variables d'une fournée à l'autre (Annexe 4, Tableau A3). En général, on peut observer une diminution du potassium dans les composts matures, ce qui suggère des pertes par lessivage, même si la siccité des amas respectait les critères du Guide MRF. En moyenne, les composts à maturité avaient des valeurs N-P-K de 5,8-2,2-3,5 en kg/t.m., ce qui est comparable à plusieurs composts commerciaux.

- **Matière organique**

Tous les composts ont débuté avec une concentration élevée de matière organique dans les intrants (plus de 90%), qui a chuté sous la barre des 40% dans les composts matures, principalement durant la maturation du compost (Annexe 4, Tableau A3). Cette diminution a principalement été causée par l'incorporation de sol minéral lors du retournement des amas. La norme BNQ pour un compost de qualité AA est de 50% de matière organique ou plus, mais un compost de ferme contenant un taux de matière organique inférieur ne compromet pas nécessairement la qualité du compost si celui-ci est épandu sur la ferme. Afin de maintenir un taux élevé de matière organique dans le compost, une entreprise maraichère pourrait réaliser tout le compostage à l'intérieur du composteur rotatif. Pour une entreprise ayant beaucoup de résidus végétaux à traiter, la maturation du compost pourrait être effectuée sur une dalle de béton étanche afin d'éviter l'inclusion de sol minéral dans le compost lors du retournement des amas.

- Hygiénisation du compost (salmonelles, mauvaises herbes, phytopathogènes)
Aucune salmonelle n'a été détectée dans les composts matures (Annexe 4, Tableau A4). Une source possible de contamination par des coliformes fécaux aurait pu être le carton, mais celui-ci servait au transport d'aliments avant d'être utilisé pour le compost et n'était donc pas contaminé.

Pour tous les composts matures, aucune mauvaise herbe n'a germé durant les sept jours d'observation du compost (Annexe 4, Tableau A4). Des mauvaises herbes ont été observées sur les amas de compost lorsque la toile de compostage était retirée temporairement, indiquant que des semences se sont déposées ou se trouvaient déjà dans le compost, mais les résultats obtenus démontrent que l'essentiel de l'amas n'était pas contaminé.

Pour les phytopathogènes, les fournées étaient composées de 30% à 66% de bulbes d'échalotes rejetés à l'emballage. Les causes de rejet des bulbes incluent des critères de calibre (par ex. trop petit ou trop gros), des désordres abiotiques (par ex. tunique fendue) et tout symptôme de maladie, moisissure et pourriture. Une proportion non négligeable des bulbes utilisés dans le compost était donc porteuse de pathogènes. Les principaux pathogènes affectant l'échalote sont des maladies se propageant dans le sol et infectant le plant par les racines ou le plateau racinaire (*Fusarium oxysporum* sp. *cepae* et *Sclerotinia sclerotiorum*) et des maladies foliaires formant des structures de survie se conservant dans le sol (*Stemphylium vesicarium*, *Peronospora destructor* et *Botrytis squamosa*). La ferme possède un historique important de *Fusarium* et *Sclerotinia* dans le sol, ces maladies causant jusqu'à 5% de pertes dans l'échalote annuellement, et les maladies foliaires sont présentes chaque année, ou presque dans le cas du mildiou (*P. destructor*). La gestion des résidus végétaux est donc importante dans la lutte intégrée contre ces maladies, et l'utilisation de compost amplifiant l'inoculum de ces maladies dans le sol ne serait pas acceptable. Heureusement, aucun de ces pathogènes n'a été détecté dans les échantillons de compost mature (Annexe 4, Tableau A4). Dans la littérature, certains des pathogènes visés (ou des espèces apparentées) étaient inactivés lorsque des températures de plus de 50°C étaient atteintes pendant une semaine ou plus durant le compostage (Tableau 3).

Tableau 3. Conditions d'éradication et de survie des pathogènes durant le compostage

Pathogène	Survie au compostage	Référence
<i>Botrytis aclada</i>	Éradiqué à >64°C pendant 21 jours	Noble et Roberts, 2004
<i>Botrytis alli</i>	Éradiqué à >60°C pendant au moins 21 jours	Wichuk et al., 2011
<i>Botrytis cinerea</i>	Éradiqué à >50°C pendant au moins 1 semaine	Wichuk et al., 2011
<i>Fusarium spp.</i>	Éradiqué à >55°C pendant au moins 15 jours	Wichuk et al., 2011
<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	Éradiqué à >64°C pendant au moins 3 semaines, mais a survécu à >70°C pendant 2 semaines	Noble et Roberts, 2004 Wichuk et al., 2011
<i>Sclerotium cepivorum</i>	Éradiqué à >48°C pendant au moins 3 jours	Wichuk et al., 2011

- Contaminants chimiques (bore, ETI)

Pour les composts avec carton, les concentrations en bore et éléments traces inorganiques respectaient les critères du Guide MRF (Annexe 4, Tableau A5). Le bore est utilisé dans le procédé de fabrication du carton. Il entre notamment dans la composition des adhésifs. C'est un élément mineur important pour la croissance des plantes dicotylédones (Parent et Gagné, 2010), mais il peut être toxique aux cultures à des concentrations dépassant quelques parties par million dans le sol. Dans ce projet, la concentration en bore des composts avec carton était d'environ 15 ppm, ou 15 g par tonne, lorsque le carton ne comptait pas pour plus de 20% de la masse totale d'intrants. Pour une application de 1 kg/ha de bore, recommandée en terres noires pour les cultures moyennement exigeantes (Leblanc, 2016), il faudrait donc appliquer plus de 60 t.m./ha de compost produit à partir de carton, ce qui représenterait plus de 120 kg/ha de phosphore (pour une valeur moyenne de 2,2 kg P₂O₅/t.m. de compost). Le bore étant un élément mineur facilement lessivable, il est peu probable qu'une concentration toxique soit atteinte dans les sols lorsqu'un compost contenant au plus 20% de carton (sur base massique) est appliqué à des taux inférieurs à 60 t.m./ha.

Dans le cas des éléments traces inorganiques (ETI), aussi appelés éléments traces métalliques, ce sont des contaminants d'importance pour la santé humaine, bien que certains soient aussi essentiels ou bénéfiques aux plantes en faibles quantités (Parent et Gagné, 2010). Ils peuvent avoir différentes origines, par exemple dans les encres pouvant être utilisées dans la fabrication du carton. Les critères d'acceptabilité des ETI dans les MRF sont détaillés dans le Guide MRF. Concernant les composts avec carton produits dans ce projet, tous les critères d'ETI étaient respectés (Annexe 4, Tableau A5). Le compost contenant au plus 20% de carton ne semble donc pas être une source de contamination importante en ETI. Le type de carton utilisé pourrait jouer un rôle important, puisque le carton composté dans ce projet contenait peu ou pas d'encre.

- Corps étrangers

Les corps étrangers sont des contaminants physiques de matières inorganiques (plastique, métal, verre, etc.) pouvant poser un enjeu de santé et sécurité ou de salubrité en contexte agricole. Pour les composts de ferme produits entièrement à partir de résidus végétaux provenant de la ferme, on présume que la présence de corps étrangers est négligeable. Par contre, dans le cas des composts à base de carton, des agrafes ou du plastique (emballage, ruban adhésif, etc.) pourrait être introduit dans le compost. Les composts avec carton

produits dans ce projet ne contenaient aucun corps étranger détectable (Annexe 4, Tableau A5). Afin d'obtenir un compost exempt de corps étrangers, il est essentiel de faire un pré-traitement rigoureux du carton afin d'enlever toute matière non désirée et de choisir préférentiellement un carton exempt d'agrafe et utilisant peu ou pas de ruban adhésif.

Analyse économique

Les résultats de l'analyse technico-économique sont présentés à l'Annexe 5. Les dépenses les plus importantes sont les dépenses en main-d'œuvre, particulièrement pour l'opération du composteur (préparation des mélanges d'intrants), l'achat du composteur et les frais annuels d'entretien et de réparation. Pour un compost produit dans un composteur rotatif et en andains, et pour une production d'environ 400 m³ ou 380 tonnes métriques de compost par an, les coûts nets du compost sont d'environ 107 \$/m³ de compost produit ou 113 \$ la tonne. À titre comparatif, un compost commercial coûte entre 85 et 105 \$/m³, et le coût de production d'un compost de ferme à base de fumier et produit en amas au sol est de 265 \$ la tonne si les intrants sont importés à la ferme et de seulement 26 \$ la tonne sans les coûts des intrants (AGDEX 537/821, 2023). Les résidus végétaux pourraient aussi être traités par biométhanisation, mais les coûts de ce type de traitement (à la ferme ou à l'externe) ne sont pas très bien connus au Québec. On peut tout de même en retenir que la valorisation des résidus végétaux à la ferme demeure un coût net pour une entreprise agricole, peu importe la solution envisagée.

Ce type de compostage paraît donc plus ou moins avantageux selon le point de comparaison, d'autant plus que plusieurs dépenses et revenus pourraient s'ajouter à l'analyse effectuée. Par exemple, il pourrait être possible d'avoir à ajouter dans les dépenses l'achat d'intrants (par ex. bois d'émondage), les coûts d'analyses requis par une accréditation de salubrité (salmonelles et *E. coli*), les frais réglementaires pour une demande d'autorisation ministérielle et la réalisation d'un PAER, et les dépenses liées à l'utilisation d'andains filtrants si recommandés par un agronome. Du côté des bénéfices, l'ajout de carbone dans le sol et la réduction des sources de phytopathogènes sur la ferme sont difficiles, voire impossibles, à comptabiliser dans ce type d'analyse. Pour des entreprises souhaitant limiter les coûts liés au compostage, le compostage en amas au sol ou en infrastructure étanche pourrait être plus économique, selon les volumes d'intrants à gérer. Pour de plus petits volumes pouvant être compostés jusqu'à maturité dans le composteur rotatif, ce dernier offre tout de même la solution la plus simple d'utilisation et la plus efficace au niveau des risques environnementaux liés à la gestion du lixiviat et des pathogènes. D'ailleurs, puisque le lixiviat et la température du compost sont plus faciles à gérer avec un composteur rotatif, une moins grande quantité de matériaux structurants peut être utilisée que pour le compostage en amas, ce qui peut réduire les coûts et faciliter le respect du volume maximal de 500 m³ à la ferme pour une exemption à une autorisation ministérielle (voir la section *Considérations légales*).

L'achat du composteur et des équipements complémentaires, ainsi que son installation, constituent une des dépenses les plus importantes pour ce type de projet. L'aide financière obtenue a permis de couvrir une part importante du coût de l'équipement, et les montants disponibles peuvent être un élément important dans la prise de décision d'une entreprise agricole désirent effectuer du compostage à la ferme. L'aide financière disponible pour ce type de projet est passée d'un maximum de 125 000\$ dans la mesure 4306 du programme Prime-Vert 2018-2023 à 75 000\$ dans le sous-volet 1.2.6 du programme Prime-Vert 2023-2026. Pour une aide financière de 75 000\$, le coût net du compostage reviendrait à 116 \$/m³ de compost ou 122 \$ la tonne.

Considérations légales

Avant de débiter un projet de compostage à la ferme, il est important pour l'entreprise agricole de vérifier si le projet correspond aux critères d'exemption à une autorisation ministérielle (AM) ou s'il est soumis à une déclaration de conformité (DC) selon le Règlement sur l'encadrement d'activités en fonction de leur impact sur l'environnement (REAFIE). Les projets n'étant ni exemptés d'une AM, ni soumis à une DC devront obligatoirement être autorisés par une AM.

- **Compostage sans autorisation ministérielle**

Il faudra d'abord vérifier si la méthode de compostage est exemptée d'une AM selon l'article 279 du REAFIE. Cet article énumère les conditions que doit respecter l'entreprise afin que le compostage à la ferme soit exempté d'une AM. Notons que le compostage de résidus de légumes et de bois n'exige pas une AM, si les autres conditions sont respectées. Des déjections animales pourraient aussi être ajoutées au compost sans nécessiter d'AM. Cependant, le carton n'est pas une matière acceptée selon le paragraphe 5 de l'article 279.

Pour une exemption, les intrants autres que les matières structurantes doivent être générées par la ferme ou par une autre ferme, le volume total des matières (intrants, compost et compost mature) ne doit pas dépasser 500 m³ à la ferme, le site de compostage doit se trouver à au moins 500 m d'un autre site de compostage sur la ferme et à au moins 75 m d'une habitation voisine, et le compost doit maintenir une siccité de 30% (teneur en eau de 70% ou moins). Le producteur peut utiliser la méthode de son choix afin de respecter cette dernière condition (ajout de matériaux secs, toile à compostage, etc.).

Si l'article 279 est respecté, le compostage à la ferme peut être réalisé sans AM ou DC, peu importe la méthode de compostage utilisée (composteur rotatif, compostage en amas au sol, compostage en cellules, etc.). Le compostage devra aussi respecter l'article 5 du Règlement concernant la valorisation des matières résiduelles (RVMR), qui détaille les distances à respecter par rapport aux prélèvements d'eau souterraine, aux cours d'eau et aux zones inondables. L'épandage du compost sera aussi exempté d'une AM selon l'article 274 du REAFIE et devra respecter entre autres les articles 30 et 31 du Règlement sur les exploitations agricoles (REA). Le compost épandu devra figurer au PAEF de l'entreprise; une caractérisation minimale sera donc nécessaire.

Bien qu'il n'y ait pas d'autres exigences spécifiques à respecter pour le compostage à la ferme exempté d'une AM, l'entreprise agricole devra tout de même s'assurer de respecter l'article 20 de la Loi sur la qualité de l'environnement (LQE), qui stipule que « nul ne peut rejeter un contaminant dans l'environnement ». L'entreprise agricole doit donc prendre les mesures appropriées afin d'empêcher l'écoulement de lixiviat dans l'environnement, même si toutes les mesures exigées par la réglementation sont déjà appliquées.

- **Compostage avec déclaration de conformité**

Si du carton (ou une autre matière organique qui ne se trouve pas au paragraphe 5 de l'article 279 du REAFIE) est utilisé comme matière structurante, une déclaration de conformité (DC) est exigée pour le compostage à la ferme dans un composteur rotatif. Les articles 265 à 267 du REAFIE, ainsi que les articles 9 et 10 du RVMR, énumèrent les conditions devant être respectées.

Les conditions d'admissibilité à une DC sont énumérées à l'article 265 du REAFIE. Notamment, le composteur rotatif doit être d'un volume inférieur ou égal à 50 m³, un seul composteur peut être exploité par lot, les intrants doivent être générés par la ferme (mais pas par une autre ferme, contrairement au compost exempté d'une AM) et le composteur

doit être installé à plus de 10 m d'une habitation voisine sans stockage d'intrants ou à plus de 50 m d'une habitation voisine s'il y a stockage d'intrants sur le site. Les intrants doivent être stockés dans des contenants fermés ne laissant pas s'écouler le lixiviat; le stockage au sol ou dans des contenants ouverts n'est pas permis, même temporairement. Le composteur lui-même doit respecter certaines exigences techniques, soit de ne pas générer de lixiviat hors du composteur, de permettre le suivi et le maintien de conditions aérobies, d'être muni d'un système de dispersion, confinement ou filtration des odeurs ainsi qu'un système de déchargement couvert, et de permettre le maintien d'une température supérieure ou égale à 55°C pendant 3 jours. Les déjections animales ne sont pas acceptées pour ce type de compostage.

Le compostage admissible à une DC devra aussi respecter les conditions d'exploitation détaillées à l'article 266 du REAFIE et aux articles 9 et 10 du RVMR. Entre autres, un devis de compostage devra être produit par un agronome ou un ingénieur afin que le compostage respecte les exigences de l'article 265 du REAFIE. Ce devis servira de guide d'exploitation du composteur et devra être respecté intégralement par l'entreprise agricole. Celle-ci devra aussi faire le suivi quotidien des températures de compostage et de maturation, ainsi que l'analyse du compost, deux fois par an, pour les salmonelles et les critères de maturité du compost. Ces résultats devront être consignés par le producteur dans un registre d'exploitation journalier du composteur, en plus des informations sur chaque lot de compost produit, des plaintes reçues liées à l'exploitation du composteur, et des inspections, entretien et réparations effectuées.

L'épandage du compost produit est autorisé par l'article 265 du REAFIE (conditions d'admissibilité à une DC). Il faut noter cependant que le compost ne peut servir à amender le sol d'une culture destinée à la consommation humaine, ce qui limite grandement les utilisations possibles sur une exploitation maraichère. De plus, un compost qui n'est pas conforme aux critères de salmonelles ou de maturité ne peut être épandu et doit être envoyé dans un lieu d'élimination ou de traitement. À moins de changements réglementaires, l'utilisation du carton ou d'autres matières organiques propres qui ne sont pas autorisées par l'article 279 du REAFIE n'est pas très avantageuse pour le compostage à la ferme.

- **Compostage avec autorisation ministérielle**

Pour les activités de compostage à la ferme ne cadrant pas dans les exigences des articles 265 et 279 du REAFIE, une autorisation ministérielle (AM) est nécessaire. Les documents et renseignements requis pour la demande d'autorisation ministérielle sont décrits aux articles 246 à 248 du REAFIE. Les intrants acceptés, les conditions de compostage et les analyses exigées sont décrits à la section 14 du Guide sur le recyclage des matières résiduelles fertilisantes (Guide MRF). L'épandage du compost produit sera permis s'il est réalisé uniquement sur la ferme produisant le compost, mais il ne pourra servir à une culture destinée à la consommation humaine à moins que des analyses supplémentaires soient réalisées.

APPLICATIONS POSSIBLES POUR L'INDUSTRIE

Le compostage à la ferme permet de réduire les risques agronomiques et environnementaux liés aux résidus végétaux générés sur les fermes maraichères. Le faible niveau d'adoption de cette pratique sur les fermes maraichères du Québec pourrait s'expliquer par les nombreux défis que représente le compostage des résidus de légumes, en plus des connaissances limitées des producteurs et des conseillers et conseillères quant aux aspects technique, économique et légal du compostage à la ferme. Ce projet a permis de combler en partie ces lacunes pour le compostage de légumes-bulbes avec du bois et du carton à l'aide d'un composteur rotatif. Avec ces nouvelles connaissances, les producteurs maraichers et

leurs conseillers et conseillères seront mieux outillés afin de mieux planifier les projets de compostage à la ferme.

Dans ce projet, des mélanges d'intrants respectant les objectifs de densité, de teneur en eau et de rapport C/N ont pu être produits et compostés avec succès. Après ajustement de la fréquence de rotation du cylindre, des températures supérieures à 55°C ont pu être maintenues en tout temps dans le composteur. Les instructions pour la préparation d'un mélange d'intrants et l'ajustement de la fréquence de rotation et de la ventilation du cylindre se trouvent dans le guide d'utilisation du composteur rotatif produit au terme de ce projet.

Afin de prévoir une aire de compostage assez grande pour tout le compost produit, on doit tenir compte de la réduction de volume après le passage dans le composteur, qui allait de 30 à 60% dans ce projet, et du temps de maturation des amas, qui était de 40 à 50 semaines. Pour accélérer la maturation du compost, il est possible de broyer ou tamiser les morceaux de bois non compostés avant ou après le compostage en amas, ou encore de mieux aérer les amas en faisant des retournements plus fréquents ou en utilisant un système d'aération. La compaction des amas est aussi à surveiller, puisqu'elle crée des conditions anaérobiques au centre de l'amas.

La maturité des composts a été confirmée à l'aide du test d'auto-échauffement Dewar. Le test de maturité du compost Solvita ne concordait pas avec le test Dewar pour les composts matures qui contenaient encore des morceaux de bois non compostés. Le test Solvita n'est donc pas recommandé pour évaluer la maturité de ce type de compost.

L'innocuité environnementale du compost contenant du carton a été démontrée quant aux salmonelles, au bore, aux ETI et aux corps étrangers, moyennant le tri et le nettoyage du carton avant son compostage. Dans ce projet, les mélanges d'intrants contenaient au plus 20% de carton, en poids. Ces résultats pourront être utilisés par le MELCCFP afin d'évaluer si un allègement réglementaire pour le compostage du carton pourrait être accordé aux entreprises agricoles, sous certaines conditions.

Au niveau économique, cette méthode de compostage est plutôt coûteuse en comparaison avec d'autres méthodes de compostage ou avec le prix d'un compost commercial. Pour un fort volume d'intrants à composter, la capacité limitée du composteur oblige un taux de rétention court du mélange dans le composteur. Le compost n'est pas mature à la sortie du composteur et le compostage doit se poursuivre en amas au sol ou par une autre méthode, ce qui implique des coûts et des démarches légales supplémentaires. Le choix du composteur rotatif peut être justifié par sa facilité d'utilisation et son efficacité au niveau des risques environnementaux, mais une aide financière demeurera nécessaire pour justifier le choix de cette méthode pour plusieurs entreprises agricoles.

Il est possible de composter les résidus végétaux à la ferme à l'aide d'un composteur rotatif sans devoir effectuer une demande d'autorisation ministérielle ou une déclaration de conformité. L'article 279 du REAFIE, l'article 5 du RVMR et la réglementation concernant l'épandage de matières fertilisantes doivent être respectés, et l'épandage du compost devra figurer dans le PAEF de l'entreprise agricole. Autrement, des démarches réglementaires devront être engagées afin d'obtenir les autorisations nécessaires pour le compostage et pour l'épandage du compost, ce qui ajoutera des coûts pour le montage du dossier et les analyses exigées. Une entreprise agricole désirant faire du compostage à la ferme sans démarches réglementaires devra bien choisir les intrants et planifier toutes les étapes du compostage avant de débiter le projet. Un guide destiné aux producteurs et conseillers sera produit afin d'expliquer l'utilisation du composteur et les aspects économiques et légaux de cette méthode de compostage.

RÉFÉRENCES

Beauchamp C.J., P. Lessard (2014) Cocompostage à la ferme de la matière organique végétale triée à la source : une valeur ajoutée? Département de phytologie, Université Laval, Québec, 47 p.

Brinton W.F., E. Evans, M.L. Droffner, R.B. Brinton (1995) A standardized Dewar test for evaluation of compost self-heating. *BioCycle* 36 : 1-16.

[CEAEQ] CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC (2019) Protocole d'échantillonnage de matières résiduelles fertilisantes et dispositions particulières reliées à l'accréditation (DR-12-MRF-02), Québec, MELCC, 25 p.

Hébert M. (2015) Guide sur le recyclage des matières résiduelles fertilisantes : Critères de référence et normes réglementaires – Édition 2015. Québec. ISBN- 978-2-550-72954-9, 216 pages.

Leblanc M. (2016) La prévention des carences en éléments mineurs et secondaires en sol organique. <https://www.agrireseau.net/documents/91683/la-prevention-des-carences-en-elements-mineurs-et-secondaires> (dernière visite le 16 février 2024).

Noble R., S.J. Roberts (2004) Eradication of plant pathogens and nematodes during composting: a review. DOI : 10.1111/j.1365-3059.2004.01059.x.

Ozores-Hampton M. (2017) Guidelines for Assessing Compost Quality for Safe and Effective Utilization in Vegetable Production. HortTechnology, doi : 10.21273/HORTTECH03349-16.

Parent L.E. et G. Gagné, Eds (2010) Guide de référence en fertilisation : 2e édition. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, Québec, 473 p.

Potvin D. (2024) Compostage des résidus végétaux à la ferme : Entreprises maraichères mécanisées. Institut de recherche et développement en agroenvironnement, Québec, 3 p.

Wichuk K.M., J.P. Tewari, D. McCartney (2011) Plant pathogen eradication during composting: a literature review. DOI : 10.1080/1065657X.2011.10737008.

POINT DE CONTACT POUR INFORMATION

Carl Dion Laplante, agr.
Compagnie de recherche Phytodata
291 de la Coopérative
Sherrington J0L 2N0
450-454-3992 poste 28
cdion@prisme.ca

REMERCIEMENTS AUX PARTENAIRES FINANCIERS

Ce projet a été réalisé dans le cadre du sous-volet 2.2 du programme Prime-Vert – Approche interrégionale avec une aide financière du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation. Nous remercions également la ferme Delfland inc. et l'entreprise BROME Compost pour leur participation.

ANNEXE 1



Figure A1. Bulbes d'échalotes avant introduction dans le mélangeur



Figure A2. Bois décheté sous bâche avant introduction dans le mélangeur



Figure A3. Boîtes de carton prêtes à être introduites dans le mélangeur



Figure A4. Carton broyé dans le mélangeur



Figure A5. Intrants mélangés avant introduction dans le composteur



Figure A6. De droite à gauche : mélangeur, convoyeur, composteur et dôme



Figure A7. Mélange à l'intérieur du composteur



Figure A8. Convoyeur déposant le compost dans une benne mobile sous le dôme



Figure A9. Compost immature contenant du carton



Figure A10. Compost immature sous une toile de compostage



Figure A11. Compost mature fait à partir de bois (fournée 5)



Figure A12. Compost mature fait à partir de carton (fournée 10)

ANNEXE 2

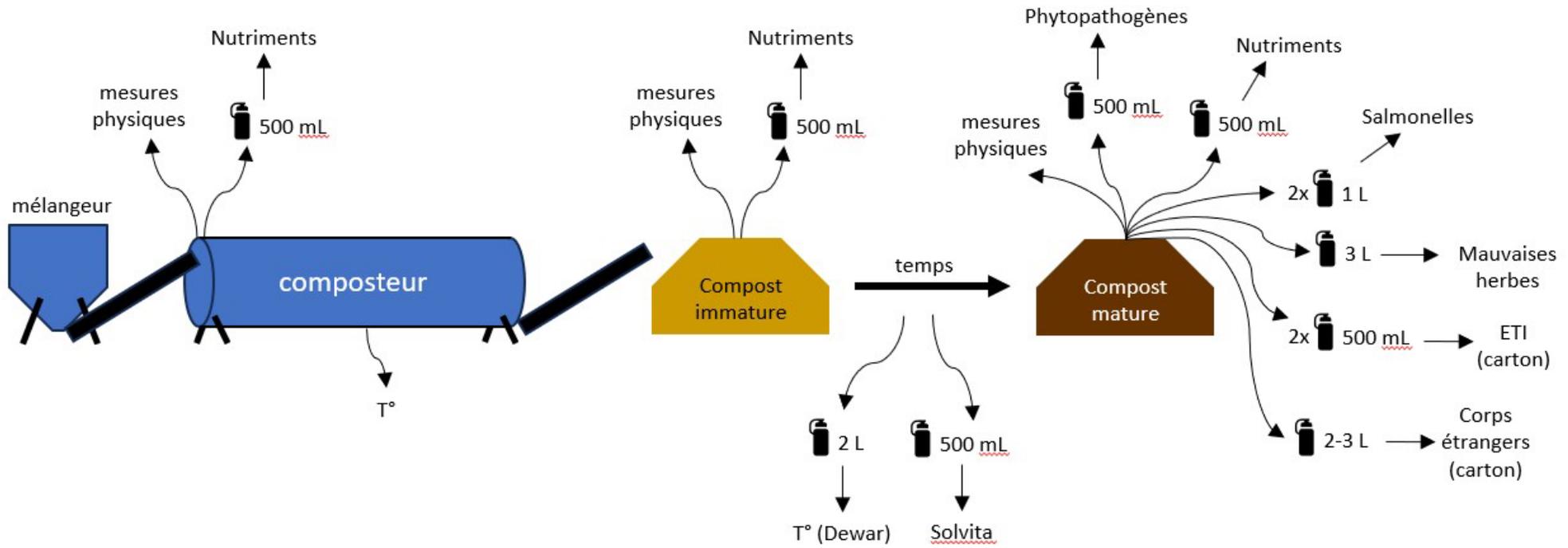


Figure A13. Résumé schématique de la procédure générale de suivi

Tableau A1. Paramètres mesurés sur les mélanges d'intrants, les composts immatures et les composts matures, ainsi que les critères visés si existants

Paramètre mesuré	Méthode de mesure ou d'analyse	Type d'échantillon	Critère visé
Mélange d'intrants			
Volume (m ³)	Nombre de mélangeurs	N/A	N/A
Densité (kg/m ³)	Technique de la chaudière	N/A	475 à 715 kg/m ³
Nutriments (kg/t)	Analyse d'engrais organique standard (N total, P, P2O5, K, K2O)	500 mL	N/A
Teneur en eau (%)	Avec analyse des nutriments	N/A	40 à 65%
Matière organique (%)	Avec analyse des nutriments	N/A	N/A
Rapport C/N	Avec analyse des nutriments	N/A	20 à 40
Bore (ppm), si carton	Avec analyse des nutriments	N/A	N/A
Durant le compostage			
Température (°C)	Sonde OT Probe ou sonde du composteur	Tous les 3 jours	< 55°C pendant au moins 3 jours
Compost immature (dès la sortie du composteur)			
Volume (m ³)	Mesure de l'amas	N/A	N/A
Densité (kg/m ³)	Technique de la chaudière	N/A	475 à 715 kg/m ³
Nutriments (kg/t)	Analyse d'engrais organique standard (N total, P, P2O5, K, K2O)	500 mL	N/A
Teneur en eau (%)	Avec analyse des nutriments	N/A	40 à 60%
Matière organique (%)	Avec analyse des nutriments	N/A	N/A
Rapport C/N	Avec analyse des nutriments	N/A	20 à 40
Compost mature			
Température (°C)	Test d'auto-échauffement Dewar	2 L	Différence de moins de 8°C avec l'air ambiant
Maturité du compost	Test de maturité du compost Solvita	500 mL	Indice de maturité de 7 ou 8
Volume (m ³)	Nombre de mélangeurs	N/A	N/A
Densité (kg/m ³)	Technique de la chaudière	N/A	440 à 580 kg/m ³
Nutriments (kg/t)	Analyse d'engrais organique standard (N total, P, P2O5, K, K2O)	500 mL	N/A
Teneur en eau (%)	Avec analyse des nutriments	N/A	< 70%
Matière organique (%)	Avec analyse des nutriments	N/A	> 40%
Rapport C/N	Avec analyse des nutriments	N/A	10 à 25
Bore (ppm), si carton	Avec analyse des nutriments	N/A	< 200 ppm
Mauvaises herbes	Germination des	3 L	Absence

	mauvaises herbes		
Phytopathogènes	Détection PCR des pathogènes	500 mL	Absence
Salubrité	Quantification des salmonelles	2x 1 L	Absence (2 sur 3)
Éléments traces inorganiques (ppm) si carton	Analyse des métaux (As, Cr, Co, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Se, Zn)	2x 500 mL	As : < 13 ppm Co : < 34 ppm Cr : < 210 ppm Cu : < 400 ppm Mo : < 10 ppm Ni : < 62 ppm Se : < 2 ppm Zn : < 700 ppm Hg : < 0,8 ppm Pb : < 120 ppm
Corps étrangers, si carton	Granulométrie des corps étrangers	2 à 3 L	CE tranchants : ≤ 1 / 500 mL CE > 2,5 mm : ≤ 2 / 500 mL CE totaux : < 0,5%

ANNEXE 3

Tableau A2. Valeurs et atteinte des critères de performance technique pour la densité (en kg par m³), la teneur en eau (TEE, en pourcentage), le rapport C/N, le pourcentage de réduction de volume par rapport au volume d'intrants, la température dans le composteur rotatif (T°, en degrés Celsius), le test d'auto-échauffement de Dewar (en degrés Celsius), le test de maturité du compost Solvita et le nombre de semaines à maturité de chaque fournée de compost. Les résultats et les valeurs visées sont présentés pour les intrants (INT), le compost immature (IMM) et le compost mature (MAT). Les cases en vert indiquent que le critère a été respecté.

Fournée	Composition	Matière	Densité	TEE	C/N	Volume	T°	Dewar	Solvita	Sem mat
2	Carton	INT	307	56	44	-	45-47	-	-	-
3 + 4	Bois + carton	INT	386	n.d.	38	-	43-48	-	-	-
5	Bois	INT	643	n.d.	68	-	43-45	-	-	-
6	Bois	INT	667	n.d.	86	-	40-45	-	-	-
7	Carton	INT	310	61	43	-	57-62	-	-	-
8	Bois + carton	INT	350	62	58	-	57-70	-	-	-
9	Bois	INT	462	59	45	-	57-68	-	-	-
10	Carton	INT	460	66	55	-	57-69	-	-	-
11	Bois	INT	546	71	39	-	57-67	-	-	-
Valeur visée		INT	475-715	40-65	20-40	-	55-70°C	-	-	-
2	Carton	IMM	344	57	38	-27%	-	-	-	-
3 + 4	Bois + carton	IMM	649	64	34	-50%	-	-	-	-
5	Bois	IMM	641	n.d.	42	-38%	-	-	-	-
6	Bois	IMM	731	69	39	-36%	-	-	-	-
7	Carton	IMM	672	65	18	-55%	-	-	-	-
8	Bois + carton	IMM	392	52	35	-39%	-	-	-	-
9	Bois	IMM	577	91	45	-61%	-	-	-	-
10	Carton	IMM	650	61	31	-54%	-	-	-	-
11	Bois	IMM	747	60	20	-32%	-	-	-	-
Valeur visée		IMM	475-715	40-60	20-40	N/A	-	-	-	-
2	Carton	MAT	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	-	n.d.	n.d.	n.d.
3 + 4	Bois + carton	MAT	1015	71	18	-50%	-	1,2	6	41
5	Bois	MAT	889	53	16	-62%	-	0,6	7	55
6	Bois	MAT	971	57	14	-37%	-	0,4	7	71
7	Carton	MAT	999	65	11	-59%	-	0,8	6	31
8	Bois + carton	MAT	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	-	n.d.	n.d.	n.d.
9	Bois	MAT	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	-	n.d.	n.d.	n.d.
10	Carton	MAT	988	55	12	-55%	-	1	7	42
11	Bois	MAT	1016	58	14	-49%	-	0,3	7	46
Valeur visée		MAT	440-580	< 70%	10-25	N/A	-	< 8°C	7-8	N/A

ANNEXE 4

Tableau A3. Évolution des concentrations en azote, phosphore et potassium (en kg par tonne métrique) et en matière organique (en pourcentage) durant le compostage

Fournée	Composition	Azote (N)			Phosphore (P)			Potassium (K)			Matière organique		
		INT	IMM	MAT	INT	IMM	MAT	INT	IMM	MAT	INT	IMM	MAT
2	Carton	4,5	5,0	n.d.	1,8	1,9	n.d.	5,8	5,9	n.d.	91	89	n.d.
3 + 4	Bois + carton	12,0	13,0	5,3	3,6	3,4	1,5	11,3	7,3	2,4	90	84	64
5	Bois	7,1	10,8	5,3	2,5	4,2	2,2	5,7	9,6	2,9	96	91	35
6	Bois	5,4	12,2	5,6	1,7	4,1	1,9	5,2	8,7	2,5	94	94	37
7	Carton	10,6	6,6	5,8	3,7	2,4	2,3	11,2	5,9	4,8	91	68	36
8	Bois + carton	7,9	5,9	n.d.	2,8	2,0	n.d.	10,5	5,7	n.d.	92	85	n.d.
9	Bois	4,2	0,9	n.d.	1,6	0,4	n.d.	4,7	1,2	n.d.	94	90	n.d.
10	Carton	2,8	4,7	6,5	1,6	1,7	2,9	4,3	4,2	5,2	91	73	35
11	Bois	3,5	6,2	6,2	1,0	1,9	2,3	3,4	4,0	3,0	92	64	40
Moyenne		6,4	7,3	5,8	2,3	2,4	2,2	6,9	5,8	3,5	93	82	41

Tableau A4. Valeurs et atteinte des critères de performance environnementale pour la présence de salmonelles, le dénombrement des mauvaises herbes et le dénombrement des phytopathogènes (copies par g de sol) dans les composts matures. Les cases vertes indiquent que le critère a été respecté.

Fournée	Composition	Salmonelles	Mauvaises herbes	<i>F. cepae</i>	<i>S. sclerotiorum</i>	<i>S. vesicarium</i>	<i>P. destructor</i>	<i>B. squamosa</i>
2	Carton	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
3 + 4	Bois + carton	Absence	0	0	0	0	0	0
5	Bois	n.d.	0	0	0	0	0	0
6	Bois	Absence	0	0	0	0	0	0
7	Carton	Absence	0	0	0	0	0	0
8	Bois + carton	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
9	Bois	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
10	Carton	Absence	0	0	0	0	0	0
11	Bois	n.d.	0	0	0	0	0	0
Valeur visée		Absence	0	0	0	0	0	0

Tableau A5. Valeurs et atteinte des critères de performance environnementale pour les corps étrangers totaux (CE totaux, en pourcentage), le bore (B, en ppm) et les éléments traces inorganiques (en ppm) dans les composts matures contenant du carton. Les cases vertes indiquent que le critère a été respecté.

Fournée	Composition	CE totaux	B	As	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Se	Zn
2	Carton	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
3 + 4	Bois + carton	0	12,4	<1,5	<10	<10	36	<0,2	<1,5	<10	<10	<0,5	52
7	Carton	0	14,4	<1,5	<10	<10	25	<0,2	<1,5	<10	<10	<0,5	54
8	Bois + carton	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
10	Carton	0	16,0	<1,5	<10	<10	26	<0,2	<1,5	<10	<10	<0,5	69
Valeur visée		< 0,5	< 200	< 13	< 34	< 210	< 400	< 0,8	< 10	< 62	< 120	< 2	< 700

ANNEXE 5

Tableau A6. Coûts et revenus du compostage, rapportés en coût annuel, en coût par tonne métrique de compost produit et en coût par mètre cube de compost produit, pour une production annuelle moyenne de 280 tonnes métriques ou 400 mètres cubes de compost

Postes	Coût annuel (\$)	\$/tm	\$/m ³
DÉPENSES			
Composteur (1)	13 333	35,09	33,33
Dalle de béton et dôme (2)	2 500	6,58	6,25
Toile à compost (3)	1 000	2,63	2,50
Déchetiseur à bois (4)	500	1,32	1,25
Main-d'œuvre pour tri du carton (5)	5 060	13,32	12,65
Main-d'œuvre pour opération du composteur (5)	20 240	52,26	50,60
Main-d'œuvre pour préparation du bois (5)	3 200	8,42	8,00
Main-d'œuvre pour retournement des amas (5)	960	2,53	2,40
Électricité (6)	2 825	7,43	7,06
Entretien et réparation	5 000	13,16	12,50
Analyses engrais organique	335	0,88	0,84
DÉPENSES TOTAL	54 952	144,61	137,38
REVENUS			
Aide financière Prime-Vert (7)	8 333	21,93	20,83
Valeur fertilisante (8)	3 705	9,75	9,26
COÛTS NET	42 913	112,93	107,28

Notes

- (1) Le coût du composteur inclut le composteur complet incluant l'extension du cylindre, les frais de livraison et d'installation, les pieds en béton sous chaque patte du composteur, le mélangeur et les convoyeurs, et l'installation et le branchement électrique du panneau de contrôle. La durée de vie du composteur est estimée à 15 ans et le coût est amorti linéairement pour obtenir le coût annuel (coût total divisé également sur les 15 années).
- (2) Le coût de la dalle de béton et du dôme inclut les frais de matériaux, de main-d'œuvre et de livraison pour une superficie de 70 m². Le coût annuel est obtenu en amortissant linéairement le coût total de l'infrastructure, pour une durée de vie prévue de 10 ans.
- (3) La toile à compost couvre 1920 m². Le coût annuel est obtenu en amortissant linéairement le coût total de l'équipement, pour une durée de vie prévue de 10 ans.
- (4) Le coût annuel est obtenu en amortissant linéairement le coût total de l'équipement, pour une durée de vie prévue de 10 ans.
- (5) Le tri du carton et l'opération du composteur nécessitent environ 5 heures de travail par jour, pour 253 jours travaillés par année. La préparation du bois nécessite 160 heures de travail par an, et le retournement des amas demande 48 heures par an. Un taux horaire de 20 \$/h a été utilisé.
- (6) L'électricité est utilisée pour l'opération du mélangeur, le système de ventilation du composteur et le retournement du cylindre. Le mélangeur utilise la plus grande partie de l'électricité. Il utilise un moteur de 25 hp pendant 6 heures par jour.
- (7) Une aide financière de 125 000\$ a été obtenue dans le cadre du programme Prime-Vert 2018-2023.
- (8) Une valeur fertilisante moyenne de 0,6-0,2-0,5 a été utilisée et convertie en valeur de remplacement selon la méthode utilisée dans le feuillet AGDEX 538 (2023).



Guide d'utilisation du composteur rotatif de BROME Compost



PHYTODATA Inc.



Guide d'utilisation du composteur rotatif de BROME Compost



Le compostage sur une ferme maraichère..... 3



Composteur rotatif de BROME Compost..... 6

Particularités.....	7
Schéma d'écoulement.....	8



Préparation d'un mélange d'intrants..... 9



Opération du composteur... 13

Ajustement de la rotation.....	15
Ajustement de la ventilation.....	16



Caractéristiques du compost..... 18



Avantages et limites du composteur rotatif de BROME Compost..... 23

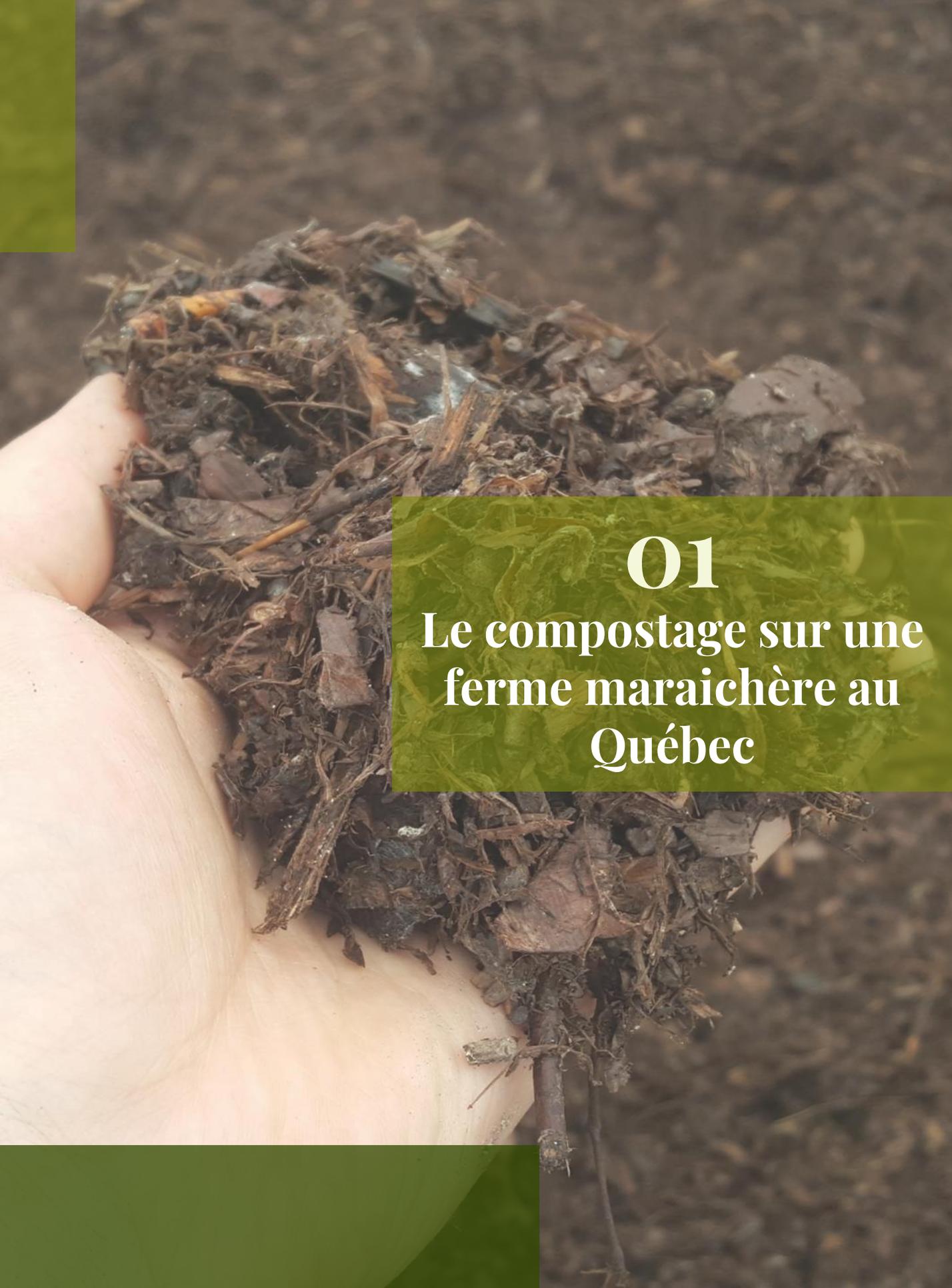


Aspect économique..... 26



Aspect légal..... 29

Compostage sans AM.....	31
Compostage avec DC.....	32



01

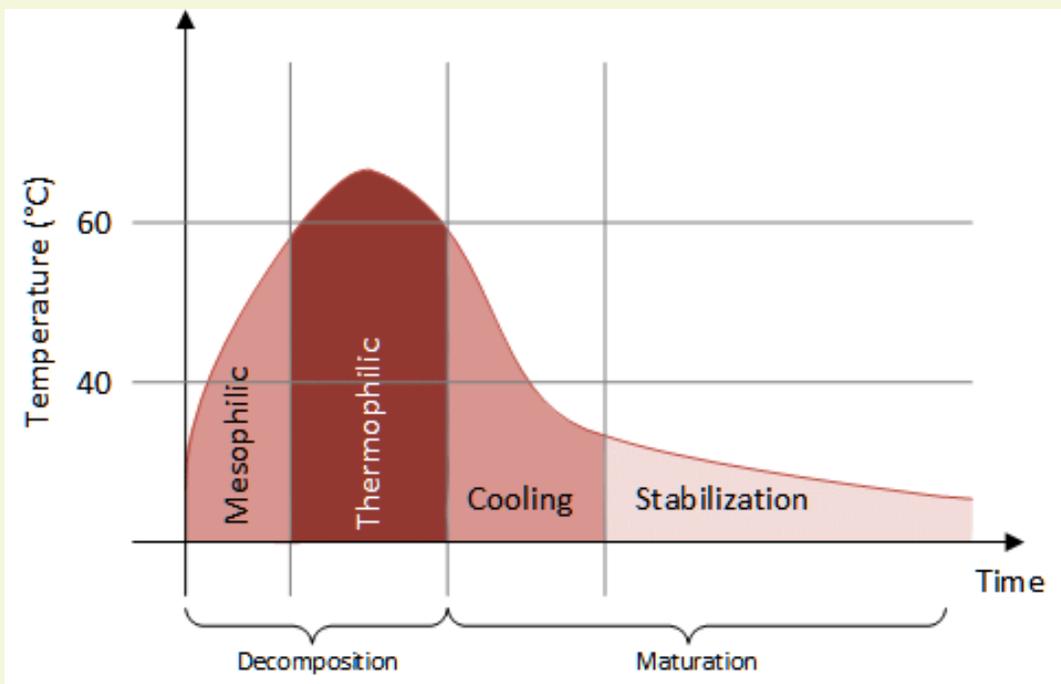
**Le compostage sur une
ferme maraichère au
Québec**

Principes du compostage

Le compostage est un **procédé contrôlé de décomposition** de matière organique incluant une phase thermophile.

La **phase thermophile** (55 à 70°C pendant au moins 3 jours) est essentielle afin d'assurer une bonne décomposition de la matière organique et d'éliminer les organismes pathogènes et les semences de mauvaises herbes pouvant se trouver dans les intrants.

Après cette phase, la température du compost diminue pendant la **phase de maturation**, où la décomposition des résidus végétaux se poursuit.



Tiré de Nikoloudakis et al., 2018

Outre la température, les **facteurs clés** d'un compost réussi sont la teneur en eau, le ratio C/N et l'aération (porosité) du mélange d'intrants.

Les défis du compostage dans le secteur maraîcher en climat froid

Lorsqu'ils ne sont pas valorisés ou recyclés, les résidus de légumes présentent des risques pour la protection des cultures, la salubrité des aliments et la protection de l'environnement, notamment en propageant maladies et insectes, en produisant des odeurs nauséabondes, en étant une source potentielle de contamination, et en produisant des lixiviats concentrés en nutriments qui s'échappent dans l'environnement.

Le compostage de résidus végétaux à la ferme présente des défis qui demandent une approche adaptée aux réalités du secteur maraîcher.

En effet, les résidus végétaux étant générés de façon continue, une méthode de **compostage en continu** est souvent favorisée, mais l'ajout de nouveaux matériaux ne doit pas trop perturber la température, la teneur en eau, et le ratio C/N du compost.

D'ailleurs, le **climat froid** du Québec peut aussi affecter la température du tas de compost durant l'hiver; une technologie ou un procédé offrant un bon contrôle de la température du compost, malgré des ajouts périodiques de résidus, est donc préférable.

De plus, puisque les résidus végétaux à traiter sont **riches en eau** et perdent leur porosité durant le compostage, la matière absorbante utilisée doit être suffisamment poreuse et structurante.



02

Composteur rotatif de
BROME Compost

Particularités du composteur BROME Compost



Cylindre réputé étanche

Aucun lixiviat à gérer à l'extérieur du composteur, selon l'utilisation recommandée



Cylindre isolé

Pour maintenir une température de compostage élevée même en hiver



Moteur électrique programmable

Rotation (complète ou partielle) et fréquence de rotation ajustables



Thermomètre

Suivi de la température de compostage à l'aide d'une sonde intégrée



Système de ventilation

Permet d'ajuster l'entrée d'air pour maintenir une bonne aération du compost



Système de dispersion des odeurs

Compatible avec l'appareil, si besoin

Les composteurs rotatifs de BROME Compost sont disponibles en différents formats, selon la quantité de résidus à composter. Dans ce type de composteur rotatif, le mélange d'intrants est ajouté à une extrémité du composteur et se dirige graduellement, tout en se compostant, vers la sortie située à l'autre extrémité du composteur, où le compost émerge par petites quantités à chaque rotation complète du cylindre.

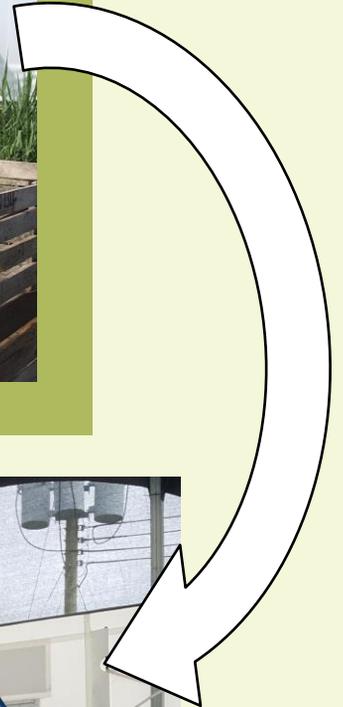
Schéma d'écoulement



Intrants



Mélangeur et composteur



Maturation

A large pile of brown mulch or wood chips is shown inside a white container. The mulch is composed of small, irregular pieces of wood and bark, with some dried leaves mixed in. The container's interior wall is white and shows some wear and tear. A green semi-transparent box is overlaid on the right side of the image, containing the text.

03

Préparation d'un
mélange d'intrants

Créer une recette d'intrants

La nature des matières à composter, leur proportion dans le mélange d'intrants, et leur pré-traitement devront permettre d'obtenir une teneur en eau de 40 à 65%, un ratio C/N entre 20 et 40, une densité de 475 à 715 kg/m³ et des morceaux d'au plus 5 cm de côté.

L'exigence principale d'une bonne recette d'intrants est d'obtenir une bonne teneur en eau, qui dépendra de la teneur en eau des résidus de légumes et des matériaux structurants utilisés.

1. La quantité de matériaux structurants à ajouter, en poids, sera d'environ 30% du poids total des intrants azotés et humides (résidus de légumes).
2. La quantité de matériaux structurants sera ajustée en fonction de la teneur en eau des résidus de légumes et de la capacité de l'agent structurant à absorber l'eau provenant des résidus de légumes.
3. Certains matériaux structurants, comme la paille, se décomposent rapidement durant le compostage et ne permettent pas de maintenir une bonne porosité/aération du compost. Ces matériaux peuvent être utilisés en combinaison avec un autre matériau structurant.

Créer une recette d'intrants

4. Si des problèmes persistent, on peut tester la teneur en eau des résidus de légumes en les faisant sécher au four; la différence de poids entre les résidus frais et secs est l'eau perdue par évaporation. Des valeurs théoriques de rapport C/N, de teneur en azote et de teneur en eau des intrants utilisés sont aussi disponibles en ligne.

Par exemple, un mélange contenant environ 40% de bois, 10% de pelures d'échalotes et 50% d'échalotes, sur la base du poids, permettait d'obtenir un mélange d'intrants avec une teneur en eau d'environ 60%.

Pour un matériau structurant plus absorbant que le bois (ou pour du bois plus sec), on pourra diminuer la proportion de bois.

Pour des résidus de légumes contenant plus d'eau que les bulbes d'échalotes, comme des bulbes d'oignon, des racines de carottes ou des laitues, on pourra diminuer la proportion de résidus de légumes et/ou ajouter un agent structurant plus absorbant que le bois.

Diagnostic des problèmes

Une recette d'intrants ne fonctionnera pas nécessairement du premier coup. Des ajustements pourraient être nécessaires.

Le réglage de la rotation et de la ventilation du cylindre du composteur peut aider à résoudre plusieurs problèmes de compostage, mais la préparation d'un bon mélange d'intrants n'est pas à négliger.

Problèmes fréquents:

- Température minimale de 55°C pendant 3 jours pas atteinte durant le compostage
Vérifier l'humidité du mélange. Un mélange trop humide aura de la difficulté à atteindre la phase thermophile du compostage.
- Temps de compostage trop long
Une teneur en eau ou un rapport C/N trop élevé peut ralentir l'activité microbienne. Vérifier l'humidité, sinon diminuer la proportion de matières carbonées ou utiliser une autre matière structurante qui se décompose plus facilement.
- Odeurs nauséabondes
Vérifier l'humidité du mélange. Les mauvaises odeurs proviennent généralement de conditions anaérobiques (sans oxygène) dans le compost.



04

Opération du
composteur

Procédure de compostage



Pré-traitement des intrants

Avant de faire le mélange d'intrants, il peut être nécessaire de hacher les matériaux structurants (bois, paille). La taille des morceaux dépendra du matériau utilisé.

Il est aussi important de s'assurer qu'il n'y ait **pas de contaminants** (plastique, métal, verre) dans les intrants.

Mélange d'intrants

Pour faciliter le compostage, il peut être préférable de **mélanger les intrants uniformément** avant de les ajouter au composteur, manuellement ou à l'aide d'un mélangeur.

Si le composteur est équipé d'un mélangeur, ajouter les intrants dans les proportions désirées en commençant par les matériaux structurants. Ceux-ci absorberont l'eau provenant des résidus de légumes qui seront ajoutés par la suite.

Une fois uniformisé, le mélange d'intrants sera ajouté dans le composteur par la porte du cylindre ou à l'aide d'un convoyeur.



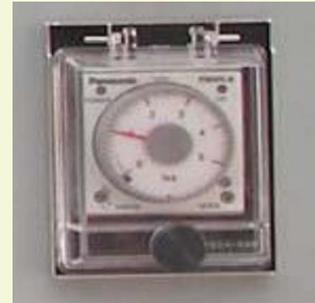
Procédure de compostage



Ajustement de la rotation du cylindre

Il peut être nécessaire de changer la programmation du composteur si le volume ou la composition du compost est modifiée, ou si le compost ne devient pas assez chaud.

La fréquence de rotation pourra d'abord être déterminée en fonction de la **disponibilité de la main-d'œuvre** pour l'ajout d'intrants et/ou la manutention du compost mature.



Si la main-d'œuvre est disponible de façon **intermittente**, il pourra être préférable de **faire plus de rotations mais moins souvent**, afin de vider une grande quantité de compost et de faire de l'espace dans le cylindre d'un coup, lorsque la main-d'œuvre est là.

Il faudra quand même prévoir une fréquence de rotation suffisante pour retourner le compost périodiquement et permettre une bonne aération.

Si la main-d'œuvre n'est pas un enjeu et que les intrants sont disponibles en continu, on voudra **éviter les rotations trop fréquentes**. Si le compost est perturbé trop souvent, il pourrait être difficile d'atteindre les températures thermophiles (plus de 55°C).

Procédure de compostage

Ajustement de la ventilation

La **ventilation** est réglée à **puissance basse** pour éviter de trop refroidir ou assécher le compost, sauf si celui-ci est trop humide ou qu'il y a des problèmes d'odeurs.

Gestion du compost à la sortie du composteur

Le compost émergera à la sortie du composteur. Selon la durée du compostage, le compost sera prêt pour la phase de **maturation** ou devra poursuivre la phase thermophile en **andains**.

En tous les cas, le compost devra être entreposé ou géré de façon à **éviter la contamination de l'environnement**, entre autres en maintenant l'humidité du compost en-dessous de 70%.

Les andains de compost immature devront être **retournés périodiquement ou aérés** pour que le compostage se poursuive.



Procédure de compostage

Maturité du compost

La maturité du compost peut être confirmée par le **test d'auto-échauffement de Dewar**, en plaçant du compost dans un contenant hermétique de 2 L. Si la différence entre la température maximale du compost et la température ambiante est de moins de 10°C, le compost est mature.

Des **tests de respiration** sont aussi disponibles (par ex. Solvita). Ces tests ne sont cependant pas appropriés si le compost contient encore des matières difficiles à décomposer, comme des copeaux de bois.

Les gros **morceaux de bois non compostés** peuvent être retirés du compost avant le test de maturité pour éviter de fausser le résultat. Ils peuvent aussi être **tamisés ou déchiquetés** à la sortie du composteur pour accélérer la maturation du compost.



A large pile of dark brown, rich compost is shown in the foreground, extending towards a dense line of green trees in the background. A semi-transparent green rectangular box is overlaid on the right side of the compost pile, containing the number '05' and the title 'Caractéristiques du compost' in white serif font. The background shows a thick canopy of bright green leaves under a clear sky.

05

Caractéristiques du
compost

Différents mélanges de composts ont été réalisés à l'aide du composteur de BROME Compost en 2021 et 2022.

Les résultats présentés dans cette section sont ceux ayant été obtenus pour des composts à base de bois d'émondage, de pelures d'échalotes et de bulbes d'échalotes.

Réduction de volume

La réduction de volume est causée par l'évaporation de l'eau et par la décomposition et le tassement des résidus durant le compostage. Cette réduction variera selon les intrants utilisés, le temps de compostage (temps de rétention dans le composteur) et la qualité du compostage (température et aération).

La réduction de volume attendue permet de calculer la capacité minimale de l'aire de compostage ou d'entreposage du compost. Par exemple, pour une réduction de volume de 50% et un volume d'intrants de 300 m³, on devra prévoir une aire de compostage pouvant recevoir 150 m³ de compost. La superficie de l'aire de compostage dépendra de la forme et de la taille des amas de compost, ainsi que de la durée de compostage ou d'entreposage du compost avant l'épandage au champ.

Pour le compostage à la ferme sans autorisation ministérielle, **la limite est de 500 m³ de matières (intrants, compost actif et compost mature)** en tout temps sur la ferme.

Rétention des nutriments et teneur en eau

Les composts ne sont généralement pas considérés comme des fertilisants puisqu'ils ont des valeurs N-P-K relativement faibles. Une bonne rétention des nutriments dans le compost est cependant bénéfique tant du point de vue environnemental qu'agronomique.

Pour un compost de résidus d'échalotes (bulbes et pelures) et de bois, on a observé une concentration des nutriments d'environ 45% pour l'azote, 60% pour le phosphore et 20% pour le potassium dans le compost immature à la sortie du composteur.

Le compost mature avait une **valeur fertilisante moyenne de 0,6-0,2-0,3**.

Afin d'éviter la production de lixiviat qui pourrait contaminer l'environnement, la teneur en eau du compost ne devrait pas dépasser 70%. À la sortie du composteur, **le taux d'humidité du compost se trouvait entre 50 et 65%**.

Hygiénisation du compost

La température à l'intérieur du composteur peut être maintenue à plus de 55°C durant plusieurs jours, voire constamment s'il y a ajout fréquent de matières fraîches, ce qui devrait être adéquat pour détruire les salmonelles, les semences de plusieurs mauvaises herbes et les spores de survie de plusieurs agents pathogènes.

Aucune salmonelle n'a été détectée dans les composts matures à base de résidus d'échalotes (bulbes et pelures) et de bois dans le composteur rotatif de BROME Compost.

Le compost mature était **exempt de mauvaises herbes** selon un test de germination. Les intrants ne contenaient pas de résidus de mauvaises herbes.

Aucune structure de survie des principaux pathogènes de l'échalote n'a été détectée dans le compost mature :

- Pourriture fusarienne (*Fusarium oxysporum* sp. *cepae*)
- Pourriture blanche (*Sclerotinia sclerotiorum*)
- Brûlure stemphylienne (*Stemphylium vesicarium*)
- Brûlure des feuilles (*Botrytis squamosa*)
- Mildiou de l'oignon (*Peronospora destructor*)

En résumé, le composteur de BROME compost permet une bonne hygiénisation du compost.



06

Avantages et limites du
composteur rotatif de
BROME Compost

Avantages du composteur BROME Compost

Compostage toute l'année et en continu

Simple d'utilisation : programmable, peu de manipulations requises

Maintien d'une température élevée pour un compost hygiénisé et de qualité

Bonne rétention des nutriments

Gestion du lixiviat et réduction des odeurs

Accélération du processus de compostage

Nécessite moins de matières structurantes que le compostage en andains

Facile d'entretien, soutien technique disponible

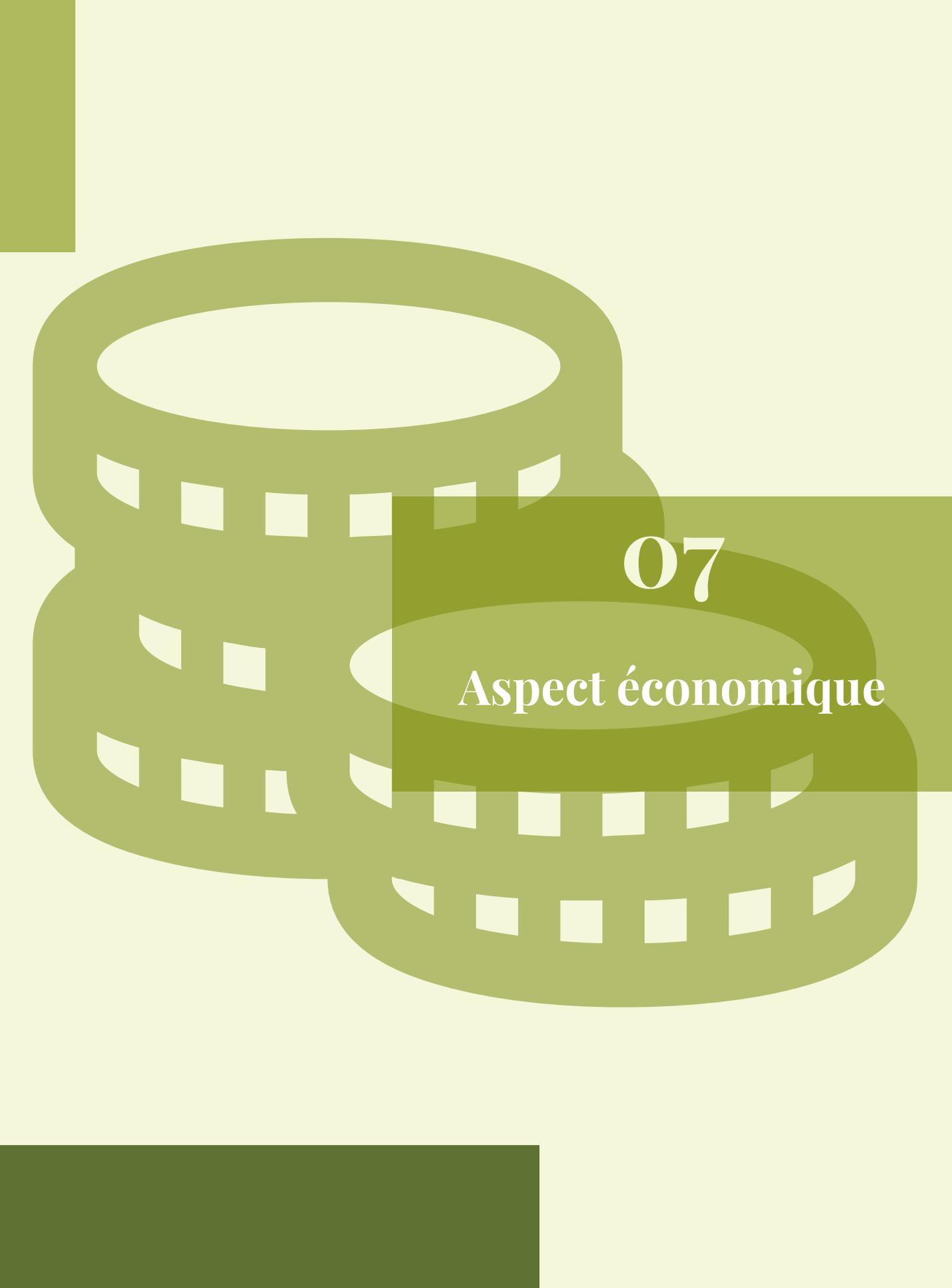
Limites du composteur BROME Compost

Capacité limitée pour les entreprises générant de grandes quantités de résidus végétaux

Si une grande quantité de résidus doit être traitée, le temps de rétention dans le composteur peut être réduit, mais la phase thermophile du compost ne sera pas terminée à la sortie du composteur. Le compostage en andains sera donc nécessaire après le passage dans le composteur rotatif.

Coûts initiaux considérables

Malgré tous leurs avantages, les composteurs rotatifs demeurent une des méthodes de compostage les plus dispendieuses. Des programmes d'aide financière sont disponibles aux entreprises agricoles pour aider à l'achat du composteur.



07

Aspect économique

Coûts et revenus du compostage

pour une production annuelle moyenne de 280 tonnes métriques ou 400 mètres cubes de compost

Postes	Coût annuel (\$)	Coût/m ³ compost
DÉPENSES		
Composteur (1)	13 333	33,33
Toile à compost (2)	1 000	2,50
Déchiqueteur à bois (3)	500	1,25
Main-d'œuvre pour opération du composteur (4)	20 240	50,60
Main-d'œuvre pour préparation du bois (4)	3 200	8,00
Électricité (5)	2 825	7,06
Entretien et réparation	5 000	12,50
Analyses engrais organique	335	0,84
DÉPENSES TOTAL	46 433	116,08
REVENUS		
Aide financière Prime-Vert (6)	8 333	20,83
Valeur fertilisante (7)	3 705	9,26
COUTS NET	34 395	85,99

Notes

- (1) Le coût du composteur inclut le composteur complet incluant l'extension du cylindre, les frais de livraison et d'installation, les pieds en béton sous chaque patte du composteur, le mélangeur et les convoyeurs, et l'installation et le branchement électrique du panneau de contrôle. La durée de vie du composteur est estimée à 15 ans et le coût est amorti linéairement pour obtenir le coût annuel (coût total divisé également sur les 15 années).
- (2) La toile à compost couvre 1920 m². Le coût annuel est obtenu en amortissant linéairement le coût total de l'équipement, pour une durée de vie prévue de 10 ans.
- (3) Le coût annuel du déchiqueteur est obtenu en amortissant linéairement le coût total de l'équipement, pour une durée de vie prévue de 10 ans.
- (4) L'opération du composteur nécessite environ 4 heures de travail par jour, pour 253 jours travaillés par année. La préparation du bois nécessite 160 heures de travail par an, et le retournement des amas demande 48 heures par an. Un taux horaire de 20 \$/h a été utilisé.
- (5) L'électricité est utilisée pour l'opération du mélangeur, le système de ventilation du composteur et le retournement du cylindre. Le mélangeur utilise la plus grande partie de l'électricité. Il utilise un moteur de 25 hp pendant 6 heures par jour.
- (6) Une aide financière de 125 000\$ a été obtenue dans le cadre du programme Prime-Vert 2018-2023.
- (7) Une valeur fertilisante moyenne de 0,6-0,2-0,5 a été utilisée et convertie en valeur de remplacement selon la méthode utilisée dans le feuillet AGDEX 538 (2023).



08

Aspect légal

Réglementation pertinente s'appliquant au compostage à la ferme

Guide MRF : Guide sur le recyclage des matières résiduelles fertilisantes

RAMHHS : Règlement sur les activités dans des milieux humides, hydriques et sensibles

REA : Règlement sur les exploitations agricoles

REAFIE : Règlement sur l'encadrement d'activités en fonction de leur impact sur l'environnement

RPEP : Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection

RVMR : Règlement concernant la valorisation des matières résiduelles

Autres documents pertinents

Addenda n°7 au Guide MRF

Fiche d'information sur l'encadrement des activités de compostage agricole

Compostage à la ferme exempté d'une autorisation ministérielle

Le compostage à la ferme peut être réalisé sans autorisation ministérielle ni déclaration de conformité, sous certaines conditions.

REAFIE art. 279

- Intrants (sauf matériaux structurants) générés par la ferme ou importés d'une ferme
- Moins de 500 m³ de matières (intrants, compost en cours et compost mature) sur la ferme en tout temps
- Sites de compostage séparés de 500 m
- Au moins 75 m d'une habitation voisine (odeurs)
- Teneur en eau de moins de 70%
- Matières acceptées
 - Résidus végétaux (légumes, paille, feuilles, bois, etc.)
 - Déjections animales
- Matières refusées
 - Matières fécales et urine humaines, papier hygiénique
 - Cadavres d'animaux
 - Bois verni, traité, contreplaqué, etc.
 - Espèces floristiques envahissantes

RVMR art. 5

- 100 m d'un prélèvement d'eau de catégorie 1, 2 ou 3
- 60 m d'un cours d'eau, 30 m d'un milieu humide
- Pas dans une zone inondable

Les normes pour l'entreposage et l'épandage de matières fertilisantes, de MRF et de compost trouvées dans le REA, le RPEP et le RAMHHS s'appliquent.

Compostage à la ferme avec déclaration de conformité (DC)

Il est possible de composter certaines matières organiques non acceptées à l'article 279 du REAFIE (par ex. carton). Le compostage nécessitera une déclaration de conformité et devra être réalisé dans un équipement thermophile fermé, tel un composteur rotatif. Pour être admissible à une DC, le compostage doit respecter toutes les conditions de l'article 265 du REAFIE.

REAFIE art. 265

- Intrants (sauf matériaux structurants) générés par la ferme
- Volume du composteur inférieur ou égal à 50 m³
- Un seul site de compostage par lot
- Au moins 10 ou 50 m d'une habitation voisine
- Matières refusées
 - Toutes les matières refusées au REAFIE art. 279
 - Matières liquides à 20°C
 - Fumiers non compostés
- Exigences pour le composteur rotatif
 - Pas de lixiviat hors du composteur
 - Suivi et maintien de conditions aérobies
 - Dispositif de dispersion des odeurs
 - Système de déchargement couvert
 - Maintien d'une température de 55°C ou plus pendant 3 jours
- Les intrants doivent être stockés dans des contenants fermés ne laissant pas s'écouler le lixiviat
- Le compost ne peut pas être utilisé pour une culture destinée à la consommation humaine

Compostage à la ferme avec déclaration de conformité (DC)

Des conditions d'exploitation du composteur doivent aussi être respectées.

REAFIE art. 266

- Devis de compostage par un agronome ou ingénieur
- Suivi quotidien de la température dans le composteur
- Analyse du compost mature 2 fois par an : salmonelles + critères de maturité du compost

RVMR art. 9 et 10

- Registre d'exploitation journalier obligatoire
- Contenu du registre
 - Dates de déchargement du composteur et volume de compost mature déchargé
 - Informations sur chaque lot de compost produit
 - Température quotidienne dans le composteur
 - Résultats d'analyses du compost
 - Plaintes reçues et mesures de correction
 - Dates d'entretien et d'inspection, constats, et mesures de correction

Si les conditions pour le compostage exempté d'une AM et pour le compostage avec DC ne sont pas respectées, le compostage nécessite une AM. Les documents demandés pour la demande d'autorisation sont décrits dans les articles 246 à 248 du REAFIE. Les exigences pour le compostage avec AM se trouvent dans la section 14 du Guide MRF. Un compost produit avec AM ne pourra pas être utilisé pour une culture destinée à la consommation humaine, à moins que les analyses nécessaires démontrent son innocuité.

Remerciements et attributions

Avril 2024

Rédigé par Carl Dion Laplante, agr.
Consortium PRISME

Ce projet a été réalisé dans le cadre du sous-volet 2.2 du programme Prime-Vert – Approche interrégionale avec une aide financière du Ministère de l’Agriculture, des Pêcheries et de l’Alimentation.



Nous tenons également à remercier :

BROME Compost, particulièrement Travis Ahearn, pour leur expertise et les photos (p. 15)

Delfland inc. pour l’utilisation du composteur et les manipulations du compost durant le projet

Le modèle de présentation a été fourni gratuitement par Slidesgo, incluant des icônes par Flaticon et des images et infographies par Freepik.



1 Year Warranty

Patz
400 Series II
200



Patz

Patz

EzDome
EzDome.com