



## Services écosystémiques du vermicompostage à l'échelle d'une micro-ferme pour une agriculture urbaine et périurbaine durable (Synthèse bibliographique)

Ngoyi Lumami Henock <sup>(1)</sup>, Kizungu Vumilia Roger <sup>(1)(2)</sup>, Lele Nyami Bonaventure <sup>(1)</sup>, Kasongo Munyinga Yvonne <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Université de Kinshasa. Faculté des Sciences Agronomiques. BP 117 Kinshasa XI (RDC). E-mail : henocklungo@gmail.com

<sup>(2)</sup>Institut National pour l'Etude et la Recherche Agronomiques. Direction Générale. BP 2037 Kinshasa (RDC)

Reçu le 23 mai 2021, accepté le 05 juillet 2021, publié en ligne le 24 juillet 2021

### RESUME

**Introduction.** Afin de répondre aux besoins d'approvisionnement en denrées des populations en forte augmentation dans les milieux urbains, plusieurs défis sont à relever en vue d'améliorer les rendements agricoles. Le développement des solutions qui apportent à la fois plusieurs services écosystémiques à l'exploitation sont nécessaires. Parmi ces solutions, le vermicompostage permet d'avoir des fertilisants organiques de haute qualité nutritives à partir des déchets urbains et des fermes. L'étude se propose de faire une revue de la littérature sur les services écosystémiques de cette technologie en agriculture urbaine à l'échelle d'une micro-ferme fonctionnant en Système d'Exploitation Agricole intégré à plusieurs composantes (animale et végétale).

**Littérature.** Le vermicompostage contribue à la valorisation des déchets urbains et des fermes. Il permet l'amélioration des propriétés du sol, notamment la porosité, l'aération, le drainage, la texture, la richesse en matière organique, la capacité de rétention d'eau et des nutriments, l'amélioration de la fertilisation minérale par la disponibilité des éléments nutritifs facilement absorbables par les plantes, la séquestration du carbone à travers l'apport dans le sol du carbone organique stable, la régulation du pH au tour de la neutralité, l'augmentation de la CEC, l'amélioration de la fertilité biologique du sol, etc. Il est aussi une source de protéines (lombrics) pour les volailles et les poissons. **Conclusion.** Au regard de ces différents services écosystémiques, le vermicompostage peut être recommandé comme une bonne technologie agricole pour une agriculture urbaine et périurbaine durable utilisant le principe d'exploitation agricole intégré.

**Mots-clés :** Vermicompostage, services écosystémiques, agriculture urbaine durable, système d'exploitation agricole intégré, micro-ferme.

### ABSTRACT

**Ecosystem services of vermicomposting on a micro-farm scale for sustainable urban and peri-urban agriculture (Literature review)**

**Description of the subject.** In order to meet the rapidly increasing food supply of urban populations, several challenges need to be addressed in order to improve agricultural yields. The development of solutions that provide multiple ecosystem services to the farm are needed. Among these solutions, vermicomposting provides high quality organic fertilisers from urban and farm waste. The study proposes to review the literature on the ecosystem services of this technology in urban agriculture at the scale of a micro-farm installed in a multi-component integrated farming system (animal and plant).

**Literature.** Vermicomposting contributes to the valorisation of urban and farm waste. It allows the improvement of soil properties, notably porosity, aeration, drainage, texture, organic matter richness, water and nutrient retention capacity, the improvement of mineral fertilisation through the availability of nutrients that are easily absorbed by plants, the sequestration of carbon through the contribution of stable organic carbon to the soil, the regulation of the pH around neutrality, the increase of CEC, the improvement of the biological fertility of the soil, etc. Vermicomposting is also a source of protein (earthworms) for poultry and fish.

**Conclusion.** In view of these different ecosystem services, vermicomposting can be recommended as a good agricultural technology for sustainable urban and peri-urban agriculture using the integrated farming principle.

**Keywords:** Vermicomposting, Eco-systemic services, sustainable urban agriculture, integrated farming system micro-farm.

## 1. INTRODUCTION

L'agriculture urbaine et périurbaine connaît plusieurs défis/contraintes liés à l'augmentation durable de rendement des cultures en vue de répondre de la sécurité alimentaire et nutritionnelle des populations en forte augmentation. La solution à cette situation repose sur l'intégration d'autres problèmes urbains liés à l'augmentation de la population et de la demande en nourriture au-delà de l'offre (AgriSud 2008 ; Minengu *et al.*, 2018 ; Lucantoni, 2020). Il s'agit des solutions fournissant directement ou indirectement plusieurs services écosystémiques.

Parmi les solutions répondant aux contraintes liées à l'amélioration/augmentation durable du rendement agricole dans les zones urbaines et périurbaines, l'utilisation des intrants agricoles occupe une place de choix dans la prise des décisions des agriculteurs dans un monde où tous les secteurs de la vie socioéconomique devraient penser à une transition écologique de leurs pratiques. Aussi, des fermes agricoles peuvent être transformées en solutions par la promotion des pratiques agricoles plus durables dans un Système d'Exploitation Agricole Intégré (Archer *et al.*, 2018 ; Vinodakumar, 2017). En considérant l'utilisation d'intrants agricoles pour l'amélioration de la fertilité des sols, un autre problème urbain de gestion de déchets organiques d'origine animale ou végétale des fermes peut être résolu en transformant ses déchets en un engrais organique à haute valeur nutritive pour les plantes.

La transformation de déchets organiques en engrais organique de qualité est un processus de fermentation/biostabilisation (compostage classique) utilisant l'action des microorganismes pour décomposer les déchets biodégradables en un produit plus au moins stable (compost), contenant des éléments nutritifs pour la plante. Une autre variante du compostage appelée Vermicompostage n'utilisant pas seulement l'action des microorganismes mais aussi celle de vers de terre (García-Sánchez, 2017) (Hoitink et Kuter, 1986) donne des produits de haute qualité nutritive que celui du compostage classique (vermicompost, vermithé, lombrics) (Blouin *et al.*, 2013). Les services écosystémiques que fournit le vermicompostage à l'agriculture de façon générale et à l'agriculture urbaine particulièrement ne sont pas suffisamment documentés et restent à explorer. C'est dans ce contexte que cette revue bibliographique a été réalisée pour fournir des informations nécessaires

sur le vermicompostage et ses produits (vermicompost, vermithé et lombrics) pour une agriculture urbaine durable.

En effet, la conversion des déchets en matériels bénéfiques doit constituer en permanence une préoccupation dans le processus de récupération et du recyclage des ressources. Parmi les méthodes d'élimination classiques des déchets urbains et périurbains, les services privés ou municipaux centralisés procèdent par enfouissement dans le sol, le déversement sur les sites d'érosion ou dans les rivières, ou par incinération à ciel ouvert (Pérez-Godinez, 2017). Certains agriculteurs les appliquent directement au champ sans biostabilisation. D'autres essaient de les valoriser en exploitant la chaleur produite par leur décomposition (Pérez-Godinez, 2017). Pourtant, le besoin en intrants agricoles pour la fertilisation des sols garantissant une agriculture durable pourrait être résolu en transformant ces déchets biodégradables en un engrais organique de qualité.

Il paraît important de pouvoir penser à une forme de gestion de déchets pouvant intégrer plusieurs services écosystémiques contribuant à répondre aux principes d'une agriculture plus écologique (Altieri, 2002). De nos jours, le vermicompostage est connu comme une alternative à moindre coût dans la valorisation des déchets urbains, périurbains et des fermes (García-Sánchez, 2017). Il est en train de devenir une technologie plus appropriée au compostage aérobie conventionnel. Ce processus est non seulement rapide, facilement contrôlable, rentable, économe en énergie, mais permet également le recyclage le plus efficace des matières organiques et des nutriments (Yadav *et al.*, 2010).

La présente recherche utilise principalement les données des articles obtenus dans la plateforme research4life dans sa rubrique Agora et sur d'autres plateformes. Pour y arriver, les études pertinentes essentielles portant sur le vermicompostage et ces services écosystémiques ont été analysées. Pour évaluer ces services écosystémiques dans un Système d'Exploitation Agricole Intégré en milieu urbain et périurbain, plusieurs fonctions du vermicompostage ont été identifiées, puis, pour chaque fonction, les différents services écosystémiques ont été présentés en capital, et pour chaque capital, les bénéfices et les valeurs qui s'y attachent.

Cette étude se propose de faire une revue de la littérature sur les services écosystémiques du vermicompostage en agriculture urbaine à l'échelle d'une micro-ferme fonctionnant en Système

d'Exploitation Agricole intégré à plusieurs composantes (animale et végétale). Spécifiquement, l'étude vise à analyser le processus biophysique de vermicompostage dans la gestion des déchets pour une agriculture durable, les services écosystémiques du vermicompostage dans un système d'Exploitation Agricole Intégré à travers la relation sol-plante en agriculture urbaine et périurbaine.

L'intérêt de cette étude réside dans le fait que les informations sur les avantages du vermicompostage à travers ces services écosystémiques en agriculture peuvent être utilisées dans l'élaboration des politiques publiques agricoles durables.

## **2. PROCESSUS BIOPHYSIQUE DU VERMICOMPOSTAGE**

### **2.1. Description du système de vermicompostage Définition des concepts**

Le vermicompostage (lombricompostage), une variante du compostage classique (Hoitink et Kuter, 1986), est avant tout une technique, une option de gestion ou de recyclage intégré des déchets solides biodégradables, moins cher et rapide (Arumugam *et al.*, 2017). Il consiste, dans un environnement aérobie, en une consommation, une bio-oxydation et une stabilisation de la fraction organique, par une action conjointe, une interaction symbiotique d'un consortium des microorganismes aérobiques, mésophiliques et thermophiliques et des vers de terre (lombrics) (Reinekedal, 1992 ; Pérez-Godinez, 2017 ; Alavi *et al.*, 2017 ; Arumugam *et al.*, 2017 ; García-Sánchez, 2017 ; Zhao *et al.*, 2018).

#### **Type des vers de terre (lombrics) utilisés**

Les lombrics épigés hétérotrophes utilisés (Blouin, 2013) appartenant aux espèces suivantes : *Eigenia foetida*, *E.andrei*, *Eudrilus eugeniae* et *Dendrobaena veneta* (Lalander, 2013 ; Villar *et al.*, 2017). Ils sont utilisés à cause de leur cycle de vie courte, leur taux de reproduction élevé, leur tolérance à une vaste gamme de température allant de 12 à 35 °C, leur capacité de décomposition élevée de la matière organique et leur endurance lors des manipulations (Dominguez et Edwards, 2010 ; Pramanik et Chung, 2011 ; Lalander, 2013 ; Blouin, 2013).

#### **Brève description du processus**

Le vermicompostage se passe en deux phases par rapport à l'activité des vers de terre (García-Sánchez, 2017) : (i) la phase active du vermicompostage pendant laquelle les vers modifient les propriétés physico chimiques et la composition microbienne ; (ii) la période de maturation qui correspond à l'étape où les vers migrent vers la nouvelle couche des substrats frais. Les résidus sont tout d'abord précompostés durant

15 à 30 jours avant l'introduction des lombrics (St-Pierre, 1998). La durée de ces phases dépend de la composition des déchets, des espèces des vers de terre et le taux d'ingestion des déchets. Le vermicompost est le produit dérivé du vermicompostage (Blouin, 2013).

### **2.2. Avantage et inconvénient du vermicompostage**

Le vermicompostage est un processus de compostage qui convertit plus rapidement que naturellement dans l'ordre de 40 % (Carrion-Paladines *et al.*, 2016) à 45,9 % (Lalander *et al.*, 2013), les déchets en fumier (vermicompost) contenant : (1) les nutriments disponibles pour les plantes, (2) les hormones de croissance (auxines, gibbérellines et cytokines (Singh *et al.*, 2013) produites par l'action des microbes entre autres les champignons, les bactéries, les actinomycètes, et (3) les acides humiques qui ont un impact sur la croissance et le rendement de plusieurs cultures (Singh *et al.*, 2013 ; Pérez-Godinez, 2017).

La phase de démarrage est un peu délicate avant que la quantité de vers ne permette de stabiliser beaucoup plus facilement le processus. Des odeurs nauséabondes peuvent survenir en cas de déséquilibre suite à l'apport trop important de matières azotées, surtout pendant la phase de démarrage (Anonyme, 2011). Son grand problème est l'absence de la phase thermique ou la phase de sanitation. C'est ainsi qu'on préfère un vermicompostage précédé d'un pré-compostage, durant 15 à 30 jours avant l'introduction des lombrics (St-Pierre, 1998).

### **2.3. Vermicompostage Vs compostage classique**

Le lombricompostage se différencie du compostage par l'absence de phase thermophile en présence des lombrics (St-Pierre, 1998). Le compostage classique est un processus biologique de dégradation des substrats organiques solides dans les conditions aérobiques sous l'effet des communautés microbiennes et qui résulte en un produit humifié stable et apte à être utilisé sur le sol. Il comprend différentes phases (Villar, 2017) : (i) la phase mesophile caractérisé par une prolifération des microorganismes, (ii) la phase thermophile qui produit une biodégradation par la croissance des organismes thermophiles et inhibition des non thermo tolérants, et (iii) la phase finale qui est celle de refroidissement caractérisée par la croissance des organismes mesophiles et la période de maturation durant laquelle le matériel est stabilisé et se présente sous forme d'humus. La stabilité de l'activité enzymatique et la maintenance d'une abondante quantité des bactéries et champignons fait que la maturation statique ou par compostage classique produit une maturation lente

et continue qui augmente le nombre de jours du compostage (Villar, 2017).

Dans certains cas, pour parfaire la phase finale, l'on peut intégrer les vers de terre (Villar, 2017). Les vers de terre modifient donc, le microbiote et provoque une activité enzymatique qui s'opère et qui donne un produit bien contrôlé. Le processus se termine alors sans retournement et sans arrosage (Villar, 2017). L'utilisation des vers de terre pour la maturation du compost permet une accélération du processus de dégradation du matériel organique récalcitrant (Lalander, 2013 ; Zhang, 2015).

Le vermicompostage implique l'action conjointe des vers de terre et des micro-organismes mésophiles et n'implique pas de stade thermophile. Contrairement au traitement traditionnel des déchets, le vermicompostage entraîne la bioconversion des déchets en plusieurs produits utiles: la biomasse du lombric, le vermicompost et le lombrithé.

Généralement, dans le compostage classique, les microorganismes sont les principaux responsables de la cassure, de la fragmentation mécanique ou de la modification des propriétés biochimiques des matières organiques biodégradables (Lalander, 2013). Pour ce processus de compostage, les vers stimulent ou facilitent le travail des microorganismes en modifiant les propriétés de leurs substrats à travers l'aération, l'assimilation et les excréments (Lalander, 2013, Villar, 2017). Une étude comparative a montré qu'en utilisant les mêmes substances, le compost et le vermicompost ont une composition microbienne différente (Sudkolai, 2017).

#### **2.4. Utilisation du vermicompost, vermithé et lombrics**

Ce compost est utilisable au jardin, au champ, avant bêchage, par épandage directement sur le sol sur une hauteur de 3 cm, en poquets et pour les plantations en pot en mélangeant 1/3 de vermicompost et 2/3 de terre.

Le vermicompost peut être utilisé pour toutes les cultures : vivrières, horticoles, ornementales et légumes à n'importe quel stade de production. Pour les grandes cultures, on recommande environ 2-3 kg/m<sup>2</sup> de vermicompost au moment de semis ou par rangée lorsque les plants ont une hauteur de 12-15 cm. Pour les arbres fruitiers, la quantité de vermicompost varie de 5 à 10 kg par arbre en fonction de l'âge. Pour les légumes, le vermicompost est appliqué à 1 kg/m<sup>2</sup> dans le lit de pépinière, pour des plants à transplanter. Mais pour les greffes, 400 - 500 g par plant sont appliqués initialement au moment de la transplantation et à 45 jours après (avant irrigation) et est employé soit autour de la base de la plante (Nagavallema *et al.*,

2004). Pour les fleurs, le lombricompost est appliqué entre 0,75 à 1 kg/m<sup>2</sup>.

### **3. SERVICES ECOSYSTEMIQUES DU VERMICOMPOSTAGE A TRAVERS LA RELATION SOL-PLANTE ET ELEVAGE POUR UNE AGRICULTURE URBAINE ET PERIURBAINE DURABLE**

Le vermicompost et le vermithé constituent une source d'éléments nutritifs pour le sol. Ces deux produits apportent une teneur élevée en éléments nutritifs assimilables aux végétaux, des microorganismes bénéfiques actifs qui pourraient être 1000 fois plus par rapport au compost classique, une capacité à stimuler la croissance des végétaux et à augmenter les rendements de 30 % selon les cultures (Atiyeh *et al.*, 2000). Dans une ferme de 1 ha ou une parcelle agricole urbaine ou périurbaine évoluant dans un Système d'Exploitation Agricole Intégré, le vermicompostage fournit le vermicompost, le vermithé, les lombrics et les microorganismes pour l'amélioration des sols et le rendement des cultures de façon plus durable. Ces apports fournissent plusieurs services écosystémiques.

#### **3.1. Fonction 1 : Valorisation des déchets de ferme par vermicompostage**

Actuellement, la plus grande des déchets est celle des déchets organiques (déchets alimentaires, du jardin, activités municipales, boues d'épuration, déchets agricoles et industriels), qui, dans un contexte d'urbanisation mérite une attention quant à leur élimination (García-Sánchez, 2017). Malheureusement, ils sont éliminés sans traitement et deviennent des contaminants de l'environnement posant des problèmes environnementaux incluant la présence des composés organiques, métaux lourds, pathogènes humains, éléments traces, sels, gaz toxiques comme le gaz méthane, des pathogènes zoonotiques, des métabolites toxiques, des sulfures d'hydrogène, l'ammoniac, des nitrates d'azote, etc. (Lalander *et al.*, 2015 ; García-Sánchez, 2017). Ces déchets ont une grande quantité des macro et micro nutriments mais leur utilisation inappropriée peut entraîner des désagréments comme la libération des tannins et phénols qui peuvent inhiber la croissance des racines (García-Sánchez, 2017). Dans ce cas, cela contribue à propager les maladies chez l'homme les animaux et les plantes (Lalander, 2015, Pérez-Godinez, 2017, Alavi *et al.*, 2017).

Traditionnellement, s'ils sont traités, les méthodes utilisées pour les éliminer sont des traitements classiques comme le bio digesteur qui coutent parfois cher en termes d'énergie et d'entretien (Alavi *et al.*, 2017 ; Cestonaro *et al.*, 2017). Pourtant, ces déchets, contiennent souvent des nutriments utiles qui ne sont pas exploités et donc dans ce cas, il y a une perte économique. C'est

pourquoi, il est nécessaire de penser à de méthodes qui soient rapide, économique et durable dans la gestion des déchets urbains, périurbains et des fermes. C'est dans ce sens que le vermicompostage paraît donc comme une option pour la gestion intégrale des résidus solides organiques et des boues de l'industrie agroalimentaire (Hussain *et al.*, 2015 ; Madan et Rathore, 2015 ; Pascual *et al.*, 2018). Les déchets organiques peuvent être recyclés pour fournir des nutriments grâce à la génération de vermicomposts, qui peuvent être utilisés comme engrais organique dans l'agriculture (Carrión-Paladines *et al.*, 2016). Ils convertissent donc rapidement les déchets organiques en humus ayant une population diversifiée de microorganismes (Elvira *et al.*, 1998).

Contrairement au compost mûri dans des conditions statiques (maturation du compost classique), l'utilisation de vers de terre par vermicompostage pour faire mûrir le compost permet d'accélérer le processus de dégradation de la matière organique, augmentant la dégradation des composés récalcitrants (Villar *et al.*, 2017) et donc, une bonne alternative dans la gestion des déchets (García-Sánchez, 2017).

### **Service Écosystémique d'Approvisionnement**

#### ***Approvisionnement du vermicompostière en restes de cultures, en déchets d'élevage et en lombrics pour le vermicompostage***

Le principe dans ce modèle agricole (Système d'Exploitation Agricole Intégré) est d'apporter les restes de cultures, les déchets d'élevage, les résidus d'entretien des étangs ainsi que les lombrics à la plate-forme du vermicompostage (vermicompostière) pour alimenter le processus.

En effet, les déchets solides et liquides produits par les exploitations agricoles, les industries alimentaires et agricoles les sont aussi en grande quantité à l'échelle d'une ferme de 1 ha ou d'une parcelle fondée sur le principe d'un Système d'Exploitation Agricole Intégré. Par exemple, pour une bananeraie, ils sont estimés à 860 kg sur 100 m<sup>2</sup> soit 86 tonnes/ha (écartement 2 m x 2 m) (Khatua *et al.*, 2018). Pour les litières riches en substrats lignocellulosiques (paille de blé, balles de riz, copeaux ou sciure de bois), ils sont évalués à 2 tonnes pour un bâtiment de 35 m x 15 m qui abrite 3000 poules en élevage intensif, soit 91 kg pour un bâtiment de 24 m<sup>2</sup> pour les poules sur parcours (Cestonaro *et al.*, 2017). Le bénéfice est la quantité de déchets organiques qui est réduite à la ferme. En effet, les études montrent que ce processus de vermicompostage peut convertir plus rapidement que naturellement les déchets organiques dans l'ordre de 40 % à 45,9 % (Lalander *et al.*, 2015 ; Carrion-Paladines, 2016).

### **Service Écosystémique de Régulation**

#### ***Diminution ou maintien des flux des déchets dans la ferme***

Certaines études ont montré une diminution ou maintien des flux des déchets dans la ferme et un assainissement de l'environnement (Lalander *et al.*, 2015). En effet, le vermicompostage comporte moins de bactéries pathogènes suite à l'activité microbienne et enzymatique (Singh *et al.*, 2013). C'est ici qu'apparaît l'intérêt du vermicompostage dans l'assainissement de l'environnement. Deuxièmement, il y a réduction des mauvaises odeurs et lixiviats dangereux. C'est le cas pour plusieurs déchets des fermes et des matières fécales humaines lorsqu'ils sont vermicompostés (Lalander *et al.*, 2013 ; Yadav *et al.*, 2011). En outre, le vermicompostage présente l'avantage de réduire la pollution de l'environnement. Cette technique de compostage favorise un mécanisme de décontamination du sol en réduisant la mobilité et la disponibilité des métaux lourds (Soobhany *et al.*, 2015 ; Zhao *et al.*, 2018) ; elle réduit l'impact environnemental de la concentration des agents pathogènes et des organismes indicateurs dans les déchets, notamment les coliformes fécaux (Lalander, 2013 ; Yadav *et al.*, 2011 ; Blouin *et al.*, 2013).

### **Service Écosystémique culturel**

#### ***Amélioration de l'esthétique et l'éducation environnementale***

Utile pour l'éducation environnementale, le vermicompostage est un meilleur outil pour enseigner le recyclage des nutriments (Blouin, 2013). Les vers convertissent les résidus organiques en une forme utilisable plusieurs années plus tard, donc, une notion sur la gestion durable. Ceci va aussi dans le sens de l'assainissement de l'environnement (Blouin, 2013 ; Lalander *et al.*, 2015).

### **3.2. Fonction 2 : Amélioration des propriétés physiques du sol**

Il s'agit ici d'une description des services écosystémiques que peut apporter le vermicompost à travers ces propriétés physiques. Il est à signaler que cette description des services écosystémiques rendus par le vermicompost à travers ces propriétés n'est pas exhaustive. En ce qui concerne l'amélioration des propriétés physiques du sol, le vermicompost est un fertilisant, un engrais organique, une substance responsable de la fertilité et de la grande productivité du sol. Il a les propriétés physiques suivantes : grande porosité, aération, drainage, texture, riche en matière organique, grande capacité de rétention d'eau (retient trois fois son poids), grand nombre de

microsites pour les microbes et pour la rétention des nutriments (Singh *et al.*, 2013 ; Lalander *et al.*, 2015).

### Service Ecosystémique d'approvisionnement

#### *Approvisionnement le sol en vermicompost pour la stabilisation du sol*

Du point de vu physique du sol, les bénéfices d'approvisionnement du sol en vermicompost pour sa stabilisation se résument par l'augmentation de la capacité de rétention en eau du sol, l'amélioration de la porosité, des échanges gazeux, du drainage et de l'aération des sols. Selon certaines études, le vermicompost a une densité faible et une grande porosité. Grace à ces deux propriétés physiques, son apport au sol permet une augmentation de l'infiltration de l'eau (Blouin *et al.*, 2013 ; Singh *et al.*, 2013).

### Service Ecosystémique de Régulation

#### *Diminution de l'érosion dans la mesure où les apports de vermicompost améliorent la structure du sol*

Cette diminution de l'érosion par les apports du vermicompost entraîne plusieurs bénéfices dont la régulation des écoulements d'eau (ruissellement) après un évènement pluvieux, le stockage d'eau, la restitution ou la disponibilité d'eau pour les plantes, l'augmentation de l'infiltration d'eau, la stabilisation du sol et le contrôle de l'érosion (Blouin *et al.*, 2013 ; Singh *et al.*, 2013).

#### *Séquestration du carbone à travers l'apport dans le sol du carbone organique stable*

En application dans l'agriculture, le vermicompost permet le recyclage de la matière organique et séquestre le carbone à travers l'apport dans le sol du carbone organique stable (Singh *et al.*, 2013). Le bénéfice réside dans la régulation du climat global et local et l'atténuation des Gaz à Effets de Serre à travers le stockage de carbone. En effet, le passage des substrats organiques dans les intestins de lombrics augmente l'évolution du dioxyde de carbone, le nombre de plaques bactériennes et la teneur en carbone organique soluble (Lazcano *et al.*, 2008).

### 3.3. Fonction 3 : Fertilisation minérale (éléments nutritifs dans le sol) du sol

Le vermicompost est prometteur pour une agriculture durable à long terme en tant qu'amendements organiques (Pascual, *et al.*, 2018). En effet, les vers accélèrent la décomposition des matières organiques. Après digestion, les matières sont libérées sous forme de composés organiques et de nutriments minéraux sous forme directement assimilable par les plantes (Blouin *et al.*, 2013). La

qualité du produit final du vermicompostage dépend non seulement de l'activité des micro-organismes et des vers de terre, mais également de la composition initiale des matières premières (déchets organiques) (Singh *et al.*, 2013).

Outre le vermicompost, le vermicompostage donne un liquide appelé lombrithé, très riche en azote, phosphore, potassium, calcium, sodium, magnésium, fer, zinc, manganèse, cuivre, aluminium, etc. Il est utilisé en le diluant au dixième (1 volume de jus pour 10 volumes d'eau), comme engrais pour les plantes et appliqué une fois par semaine.

### Service Ecosystémique d'approvisionnement

#### *Approvisionnement du sol en Eléments majeurs (N, P, K) et mineurs (Ca, Na, Mg, Fe, Zn, Mn, Cu...)*

Le vermicompost est un produit qui contient les éléments chimiques (N, P, K, sels minéraux disponibles, facilement absorbables par les plantes) (Lalander *et al.*, 2015) nécessaires au sol lorsqu'on l'utilise dans la fertilisation. La solubilisation du P et K est dû au mécanisme de la production d'acide organique pendant le vermicompostage (Pramanik, 2010).

Le Bénéfice constaté est l'amélioration de la croissance des plantes dont la valeur est évaluée par l'augmentation de la quantité de la biomasse. L'utilisation de vermicompost réduit la dépendance des agriculteurs aux engrais chimiques.

### Service Eco-systémique de Régulation

#### *Régulation du pH, CEC et de la conductivité électronique*

Le pH des vermicomposts est maintenu par les vers de terre (lombrics) autour de la neutralité par la sécrétion intestinale de Ca et  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  qui neutralise les groupes carboxyliques et phénoliques des acides humiques produits durant le processus (Singh *et al.*, 2013). La conductivité électronique dépend des composés utilisés dans le vermicompostage et de la concentration des ions. Il peut croître par rapport au produit initial (Singh *et al.*, 2013). Leur variation est due aux sels solubles, notamment les sels de phosphore, de potassium et d'ammoniac qui sont libérés lors de la minéralisation des déchets par les vers et les micro-organismes, etc. Le processus du vermicompostage augmente également la capacité d'échange cationique du produit final « vermicompost » (Singh *et al.*, 2013).

### 3.4. Fonction 4 : Fertilité biologique du sol (teneur en faune et flore bénéfique)

Le lombricompost possède des propriétés biologiques (haute teneur en micro-organismes avec une grande activité enzymatique) (Lalander *et al.*,

2015) qui peuvent être bénéfiques au sol lors de son application en agriculture. La biodiversité en microfaune et microflore est active dans le vermicompost (Singh *et al.*, 2013). Certaines études ont montré que la population fongique s'améliore pendant le vermicompostage, ce qui s'explique par la consommation de champignons inoculés par les vers de terre (Pramanik, 2010). Par exemple, l'inoculation de PSB (Bactéries solubilisant) augmente la teneur en P dans le vermicompost par rapport au champignon cellulolytique (Pramanik, 2010).

### **Service Ecosystémique d'approvisionnement**

#### ***Apport du vermicompost riche en lombrics et microorganisme au sol***

Selon Singh *et al.* (2013), 40 jours après, la population des vers initialement de 1,5 kg/m<sup>2</sup> peut atteindre 4,2 kg (x2,8) dans les déchets des fleurs, 2,3 kg/m<sup>2</sup> (x1,5) dans les déchets de cuisine et 1,9 kg/m<sup>2</sup> (x1,2) dans les déchets de la cour de la ferme. Au regard de cette augmentation de la population des lombrics, l'utilisation du vermicompost dans le sol apportera donc une quantité de vers de terre et surtout les microorganismes.

Le bénéfice se fait sentir premièrement par l'activité microbiologique qui devient importante dans un sol où il y a eu apport de vermicompost. Edwards (1999) affirme que « le vermicompost pourrait être 1000 fois plus actif que le compost classique sur le plan de l'activité microbienne, même si ce taux n'est pas toujours atteint ». Il favorise la production des régulateurs des croissances à travers la stimulation de l'activité microbienne (Blouin *et al.*, 2013). Les études ressenties confirment que le vermicompost contient des microorganismes actifs et les enzymes qui améliorent la fertilité du sol (Sudkolai, 2017). Aussi, les éléments minéraux sont libérés par minéralisation biologique du vermicompost. Des études ont prouvé que l'augmentation de la quantité d'azote et la diminution du carbone de déchets lors du vermicompostage est une indication de l'augmentation de la minéralisation des éléments due à l'activité microbienne, enzymatique des vers et des hormones (Singh *et al.*, 2013 ; Blouin *et al.*, 2013).

Ces différents bénéfices ont pour valeur : (i) la transformation de la matière organique instable (dégradation de déchets) en substances organiques stables appelées "humus" dont la qualité dépend des déchets utilisés ( Yadav *et al.*, 2009 ; Pramanik, 2010 ; Singh *et al.*, 2013 ; Sudkolai 2017) ; (ii) la diminution des macrostructures comme l'alcool, les aliphatiques, les polysaccharides, les protéines et l'augmentation des structures simples comme celles de l'humus et de l'acide fulvique lors du vermicompostage (Zhao *et al.*, 2018) ; (iii) la

disponibilité d'éléments minéraux pour les plantes cultivées (la teneur en éléments nutritifs assimilables par les végétaux) par l'augmentation de la minéralisation de la matière organique (Blouin, 2013 ; Singh, 2013). Atiyeh *et al.* (2000) ont découvert que le compost avait une teneur plus élevée en ammonium, alors que le vermicompost tendait à être plus riche en nitrates, la forme d'azote la plus assimilable par les végétaux. D'autres études ont également montré que les taux d'apport en plusieurs éléments nutritifs, notamment le P, le K, le S et le Mg ont été accrus par le vermicompostage comparativement au compostage classique (Saradha, 1997 ; Short *et al.*, 1999 ; Sudha et Kapoor, 2000).

### **Service Ecosystémique de régulation**

#### ***Amélioration de la biologie du sol notamment les vers de terre et microorganismes***

L'apport du vermicompost au sol favorise la stimulation des symbiontes (Blouin *et al.*, 2013). Comme bénéfique, la vie du sol est activée et entretenue par l'apport de vermicompost. En effet, cette augmentation de la biomasse microbienne dans le vermicompost apporté est dû avant tout à la germination de spores facilitée par le passage des substrats organiques dans les intestins de lombrics ( Pramanik, 2010 ; Pramanik et Chung, 2011). La valeur de ce bénéfice s'exprime ici par le nombre de macro, méso et microorganismes du sol (bactéries, champignons, protozoaires) (Villar, 2017 ; Zhao *et al.*, 2018 ;).

### **3.5. Fonction 5 : La capacité à stimuler la croissance des végétaux**

Les différentes études ont prouvé que les déchets organiques vermicompostés ont des effets bénéfiques sur la germination, la croissance des végétaux et la productivité indépendamment des transformations nutritionnelles et de la disponibilité.

### **Service Eco-systémique d'Approvisionnement**

#### ***Approvisionnement du sol en vermicompost et vermithé riches en hormones et en enzymes pour la croissance des cultures***

Selon les résultats de Villar 2017, une activité enzymatique a été observée dans l'apport du vermicompostage (cellulase,  $\beta$ -glucosidase protéase et acide phosphatase). D'autres études ont montré la production de régulateurs de croissance à travers la stimulation de l'activité microbienne et des symbiontes (Blouin *et al.*, 2013). Le plus grand bénéfice de ce service éco-systémique est l'amélioration de la germination, de la croissance des plantes et la qualité des produits, dû à l'amélioration des propriétés physiques, chimiques

et surtout des phytohormones (Szczecz, 1999). Les résultats d'un test de germination et de croissance réalisé ont montré que la germination atteint 83 % quand on utilise 10 % de vermicompost et 90 % de la terre agricole (Singh *et al.*, 2013).

### 3.6. Fonction 6 : La capacité à repousser les ennemis des cultures

Les recherches dans ce domaine sont assez récentes et les résultats manquent de consistance. Les preuves semblent s'accumuler quant à l'effet parfois répulsif des turricules de vers sur des ravageurs à corps rigide (Biocycle, 2001 ; Arancon, 2004 ; Edwards et Arancon, 2004). Les sols qui ont reçu l'amendement de vermicomposts sont répressifs à la pourriture des racines des tomates causée par *Phytophthora nicotinae* var *nicotinae* et *P. oxysperum* et au flétrissement due au *Fusarium*. Les vermicomposts diminuent l'infection de *Plasmodiophora brassicae* (Szczecz, 1999 ; Edwards et Arancon, 2004). Sur les patates, les vermicomposts ont eu un effet contre *Phytophthora infestans* et les maladies post récoltes également ont diminué.

Il a été constaté un bio-control des maladies et des parasites sur les cultures où le sol a été amendé en vermicompost (Blouin *et al.*, 2013). Le vermicompost protège donc les plantes, améliore leurs défenses grâce à son apport équilibré en vitamines phytorégulatrices naturelles, auxines, enzymes, micro et macro éléments, acides humiques et fulviques.

### 3.7. Fonction 7 : Source de protéines (lombrics) pour les volailles et les poissons

Les vers sont utilisés comme appât pour la pêche, une activité récréative (Blouin *et al.*, 2013). Les lombrics offrent des protéines aux animaux (volaille et les poissons) (Lalander *et al.*, 2015).

### 3.8. Fonction 8 : Potentiel économique

#### Service Eco-systémique d'Approvisionnement

#### *Effets de l'approvisionnement en vermicompost, vermithé et lombrics sur le revenu des agriculteurs*

Les trois produits du vermicompostage (vermicompost, vermithé et lombrics) sont utilisés comme alternative aux fertilisants chimiques méconnus par les petits agriculteurs, souvent rares et chers dans leurs milieux et comme source de protéines (Fernandez-Gomez, 2013, Carrión-Paladines *et al.*, 2016 ; Khatua *et al.*, 2018). Ces produits apportent des revenus supplémentaires aux agriculteurs (Carrión-Paladines *et al.*, 2016 ; Alavi *et al.*, 2017 ; Arumugam *et al.*, 2017) en produisant par exemple un retour à l'investissement qui atteint 280 % dans le traitement de la bouse d'une vache de 450 kg.

Le premier bénéfice économique est la vente ou/et l'utilisation des lombrics comme source de protéines dans l'élevage et donc, une source de revenus provenant de la vente des vers et de la farine de vers comme aliment pour bétail. L'application du vermicompost améliore la fertilité des sols, réduit l'application des engrais inorganiques et fournit une source supplémentaire de revenus pour les communautés locales (Carrión-Paladines, 2016).

## 4. CONCLUSION

Cette revue des services éco-systémiques du vermicompostage à l'échelle d'une micro-ferme a permis de ressortir plusieurs fonctions auxquelles sont associées les services écosystémiques, les bénéfiques ainsi que des valeurs du vermicompostage pour une agriculture urbaine et périurbaine durable.

Dans une exploitation agricole urbaine et périurbaine, le vermicompostage contribue à la valorisation des déchets des fermes qui constitue une option moins chère de gestion intégrale des résidus solides organiques. Lorsque le vermicompost est utilisé dans le sol, il permet l'amélioration des propriétés du sol, notamment la porosité, l'aération, le drainage, la texture, la richesse en matière organique, la capacité de rétention d'eau, les nutriments, l'amélioration de la fertilisation minérale par les éléments nutritifs, la séquestration du carbone à travers l'apport dans le sol du carbone organique stable, la régulation du pH au tour de la neutralité, l'augmentation de la CEC, etc.

L'augmentation de la fertilité biologique du sol (teneur en faunes et flores bénéfiques) se manifeste par l'augmentation de l'activité microbiologique, de la macro et microfaune ; l'amélioration de la libération par minéralisation des éléments minéraux directement assimilables par les plantes ; la capacité à stimuler la croissance des végétaux dû à l'amélioration des propriétés physiques, chimiques et surtout des phytohormones par une activité enzymatique, etc.

Il a été constaté également une capacité à repousser les ennemis des cultures s'expliquant par un bio-control des maladies et des parasites sur les cultures dans un sol où il y a eu apport de vermicompost. Les vermicompostage est aussi une source de protéines (lombrics) pour les volailles et les poissons. Il a un potentiel économique par ces trois produits (vermicompost, le vermithé et les lombrics) lorsqu'ils sont vendus ou qu'ils sont utilisés comme alternative aux fertilisants chimiques. Au regard de ces différents services écosystémiques, le vermicompostage est une bonne technologie agricole pour une agriculture urbaine et



périurbaine durable utilisant le principe d'un système agricole intégré.

Les études ultérieures devront s'intéresser au dimensionnement et fonctionnement du système de vermicomposte à l'échelle des ménages et des fermes ; à l'évaluation de l'évolution de différents paramètres tels que la température, l'humidité, le pH, la teneur en nitrates, la matière organique, le rapport C/N, et le lombrithé durant le lombricompostage ; à l'évaluation de la valeur nutritive de lombricompost en fonction des déchets utilisés et les doses à apporter aux différentes cultures.

## Références

AgriSud, 2008. *Mémento technique et économique du maraîchage à Kinshasa (Kinshasa)*. Pratiques agricoles et Fiches cultures. Programme d'Appui au Développement Agricole Périurbain de Kinshasa – PADAP

Alavi N., Monavvar Daneshpajou, Mohammad Shirmardi, Gholamreza Goudarzi, Abdolkazem Neisi & Ali Akbar Babaei, 2017. Investigating the efficiency of co-composting and vermicomposting of vinasse with the mixture of cow manure wastes, bagasse, and natural zeolite. *Waste Management*, 69, 117–126

Altieri, M. 2002. Agroecology: The science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 93, 1–24.

Anonyme, 2011. *Les lombriciens, outils de gestion des Agrosystèmes. Colloque «Les sols : Hommes, érosions, climats» Versailles - Lyon – 14 et 15 décembre 2011*, 26 p.

Arancon, N., 2004. An Interview with Dr. Norman Arancon. *Casting Call*, vol. 9, no 2.

Archer D.W., Franco J.G., Halvorson J.J. & Pokharel K. P., 2018. Integrated Farming Systems, *Encyclopedia of Ecology*, 2nd Edition <https://doi.org/10.1016/B978-012409548-9.10562-7>

Arumugam K., Seenivasagan R., Olubukola Oluranti B. & Vasanthy M., 2017. Investigation on paper cup waste degradation by bacterial consortium and *Eudrillus eugineia* through vermicomposting. *Waste Management*, 74, 185–193.

Atiyeh R.M., Subler S., Edwards C.A., Bachman G., Metzger J.D. & Shuster W., 2000. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedobiologia*, 44, 579-590.

Biocycle, 2001. Vermicompost as Insect Repellent, 19 p.

Blouin M., Hodson M. E., Delgado E. A., Baker G., Brussaard L., Butt K. R., Daig J., Dendooven L., Peres G., Tondoh J. E., Cluzeau D. & Brun J.-J., 2013. A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services.

Carrión-Paladines V., Fries A., Gómez-Muñoz B. & García-Ruiz R., 2016. Agrochemical characterization of vermicomposts produced from residues of Palo Santo (*Bursera graveolens*) essential oil extraction. *Waste Management*, 58, 135–143.

Cestonaro T., Mônica Sarolli Silva de Mendonça Costa, Luiz Antonio de Mendonça Costa, Dercio Ceri Pereira, Marcos A.T. Rozatti, Marcos F. & Leal Martins, 2017. Addition of cattle manure to sheep bedding allows vermicomposting process and improves vermicompost quality. *Waste Management*, 61, 165–170.

Dominguez, J. & Edwards C.A., 2010. *Biology and Ecology of Earthworm Species Used for Vermicomposting*. CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, USA, pp. 28–38.

Edwards, C.A., 1999. Interview with Dr. Clive Edwards, Casting Call, Ed. Peter Bogdanov, VermiCo, Merlin. *Oregon*, Vol. 4, N° 1.

Edwards C.A. & Arancon N., 2004. *Vermicomposts Suppress Plant Pest and Disease Attacks*. REDNOVA NEWS. <http://www.rednova.com/display/?id=55938>

Elvira C., Sampedro L., Benitez E. & Nogales R., 1998. Vermicomposting of sludges from paper mill and dairy industries with *Eisenia andrei*: a pilot-scale study. *Bioresource Technology*, 63(3), 205–211.

Fernández-Gómez M.J., Díaz-Raviña M., Romero E. & Nogales R., 2013. Recycling of environmentally problematic plant wastes generated from greenhouse tomato crops through vermicomposting. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 10, 697–708. <http://dx.doi.org/10.1007/s13762-013-0239-7>.

García-Sánchez, M., Hana Taušnerová, Aleš Hanc & Pavel Tlustoš, 2017. Stabilization of different starting materials through vermicomposting in a continuous-feeding system: Changes in chemical and biological parameters. *Waste Management*, 62, 33–42. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2017.02.008> 0956-053X/.

Hoitink, H.A.J. & Kuter G.A., 1986. Effects of composts in growth media on soil borne pathogens. In: Chen, Y., Avnimelech, Y. (Eds.), *The Role of Organic Matter in Modern Agriculture*. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, Netherlands, pp. 289–306.

Hussain S.S., Ari T., Raina F.A., Gani G., Hussain N., Hussain M. & Dar S.R., 2015. Quality evaluation of different forms of compost and their effects in comparison with inorganic fertilizers on growth and yield attributes of wheat (*Triticum aestivum* L.). *J. Agric. Sci.*, 7, 154–160.

Khatua C., Somoshree Sengupta, Vamsi Krishna Balla, Biswanath Kundu, Ashis Chakraborti C. & Sudipta Tripathi, 2018. Dynamics of organic matter decomposition during vermicomposting of banana stem waste using *Eisenia fetida*. *Waste Management*, 79, 287–295.

Lalander C.H., Geoffrey B. Hill & Björn Vinnerås, 2013. Hygienic quality of faeces treated in urine diverting

- vermicomposting toilets. *Waste Management*, 33, 2204–2210. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2013.07.007>.
- Lalander C.H., Fidjeland J., Diener S., Eriksson S. & Vinneras, B. (2015) High Waste-to-Biomass Conversion and Efficient Salmonella Reduction Using Black Soldier Fly for Waste Recycling. *Agronomy for Sustainable Development*, 35, 261–271. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0235-4>
- Lazcano C., Gómez-Brandón M. & Domínguez J., 2008. Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. *Chemosphere*, 72, 1013–1019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.04.016>.
- Lucantoni D., 2020, *Transition to agroecology for improved food security and better living conditions: case study from a family farm in pinar del río, cuba, agroecology and sustainable food systems*. <https://doi.org/10.1080/21683565.2020.1766635>.
- Madan S. & Rathore S., 2015. Nutrient analysis of compost and vermicompost and their impact on growth of *Cicer arietinum*. *Report Opin.*, 7, 4–8.
- Minengu JDD., Ikonso Mwengi A. & Mawikiya Maleke, 2018. Agriculture familiale dans les zones péri-urbaines de Kinshasa : analyse, enjeux et perspectives (synthèse bibliographique). *Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture*, 1(1), 60–69.
- Nagavallema KP, Wani SP., Lacroix S., Padmaja V.V., Vineela C., Babu Rao M. & Sahraouis KL., 2004. *Lombricompostage: Recyclage des déchets en engrais organique de valeur*. Thème global sur Agrecosystems Rapport N° 8. Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, Inde: recherche sur les cultures internationales Institut des tropiques semi-arides, 20 p.
- Pascual J.A., Ana Belen Morales, Luis Miguel Ayuso, Pedro Segura & Margarita Ros, 2018. Characterisation of sludge produced by the agri-food industry and recycling options for its agricultural uses in a typical Mediterranean area, the Segura River basin (Spain). *Waste Management*, 82, 118–128.
- Pérez-Godínez E.A., Lagunes-Zarate J., Corona-Hernández J. & Barajas-Aceves M., 2017. Growth and reproductive potential of *Eisenia foetida* (Sav) on various zoo animal dungs after two methods of pre-composting followed by vermicomposting. *Waste Management*, 64, 67–78
- Pramanik P., 2010. Changes in microbial properties and nutrient dynamics in bagasse and coir during vermicomposting: Quantification of fungal biomass through ergosterol estimation in vermicompost. *Waste Management*, 30, 787–791.
- Pramanik P. & Young Ryun Chung, 2011. Changes in fungal population of fly ash and vinasse mixture during vermicomposting by *Eudrilus eugeniae* and *Eisenia foetida*: Documentation of cellulase isozymes in vermicompost. *Waste Management*, 31, 1169–1175.
- Reinecke A.J., Viljoen S.A. & Saayman R.J., 1992. The suitability of *Eudrilus eugeniae*, *Perionyx excavatus* and *Eisenia foetida* (Oligochaeta) for vermicomposting in southern Africa in terms of their temperature requirements. *Soil Biol. Biochem.*, 24, 1295–1307.
- Saradha T., 1997. The culture of earthworms in the mixture of pond soil and leaf litter and analysis of vermifertilizer. *Journal of Ecobiology*, 9, 185–188.
- Short J.C.P., Frederickson J. & Morris, R.M., 1999. Evaluation of traditional windrow-composting and vermicomposting for the stabilization of waste paper sludge (WPS). In: Diaz Cosin, D.J., Jesus, J.B., Trogo, D. (Eds). 6th International Symposium on Earthworm Ecology, Vigo (Esp.). *Pedobiologia*, 43, 735–743.
- Singh A., Akansha Jain, Birinchi K., Sarma P.C., Abhilash P.C., Harikesh B. & Singh, 2013. Solid waste management of temple floral offerings by vermicomposting using *Eisenia foetida*. *Waste Management*, 33, 1113–1118.
- Soobhany N., Mohee R. & Garg V.K., 2015. Comparative assessment of heavy metals content during the composting and vermicomposting of Municipal Solid Waste employing *Eudrilus eugeniae*. *Waste Management*, 39, 130–145.
- Soobhany N., Romeela Mohee & Vinod Kumar Garg, 2015. Inactivation of bacterial pathogenic load in compost against vermicompost of organic solid waste aiming to achieve sanitation goals: A review. *Waste Management*, 64, 51–62.
- St-Pierre M.A., 1998. *Lombricompostage de fientes de poulet et de résidus de scierie*. Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval pour l'obtention du grade de maître ès sciences (M.Sc.). Ottawa, Canada, 98 p.
- Sudha B. & Kapoor K.K., 2000. Vermicomposting of crop residues and cattle dung with *Eisenia foetida*. *Bioresource Technology*, 73, 95–98.
- Sudkolai S.T. & Farshid Nourbakhsh, 2017. Urease activity as an index for assessing the maturity of cow manure and wheat residue vermicomposts. *Waste Management*, 64, 63–66.
- Szczeczek M.M., 1999. Suppressiveness of Vermicompost against Fusarium Wilt of Tomato. *J. Phytopathology*, 147, 155–161.
- Villar I., Alves D. & Mato S., 2017. Product quality and microbial dynamics during vermicomposting and maturation of compost from pig manure. *Waste Management*, 69, 498–507. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2017.08.031> 0956-053X/
- Vinodakumar S.N., B.K. Desai, A.S. Channabasavanna, Satyanarayana Rao, Patil M.G. & S. S. Patil S. S., 2017. Relative performance of various integrated farming system models with respect to system productivity, economics and employment generation. *International Journal of Agricultural Sciences*, 13(2), 348–352.
- Yadav K.D., Vinod Tare & Mansoor Ahammed M., 2010. Vermicomposting of source-separated human faeces for nutrient recycling. *Waste Management*, 30, 50–56.

Yadav K.D., Vinod Tare & Mansoor Ahammed M., 2011. Vermicomposting of source-separated human faeces by *Eisenia fetida*: Effect of stocking density on feed consumption rate, growth characteristics and vermicompost production. *Waste Management*, 31, 1162–1168

Zhao C., Yong Wang, Yue Wang, Feijie Wu, Jiageng Zhang, Ruiyi Cui, Ligu Wang & Hui Mu, 2018. Insights into the role of earthworms on the optimization of microbial community structure during vermicomposting of sewage sludge by PLFA analysis. *Waste Management*, 79, 700–708.  
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.08.041> 0956-053X/

Zhang J., Baoyi Lv, Meiyang Xing & Jian Yang, 2015. Tracking the composition and transformation of humic and fulvic acids during vermicomposting of sewage sludge by elemental analysis and fluorescence excitation–emission matrix. *Waste Management*, 39, 111–118.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2015.02.0100956-053X/> 2015.