



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

**INSTITUT D'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR D'ANTSIRABE –
VAKINANKARATRA**



Domaine : Sciences de l'ingénieur

Mention : AGRICULTURE

Parcours : Sciences et Techniques de la Production Végétale

Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Licence



Présente par : Mr RANABOSON Avo Mimiratra Hosana

Soutenu publiquement le 20 Novembre 2023

Devant le Jury composé de :

Président du jury : Docteur RAKOTOSON Luciano Tatiana

Encadreur Pédagogique : Monsieur RAFALY Andriaharimalala Tsilavina

Examineur : Monsieur RAHERINAIVO Harifetra Eric



Année :2019-2023

Promotion : MAMOA

REMERCIEMENTS

Mes premiers remerciements s'adressent tout d'abord à Dieu tout puissant qui m'a soutenu dans et me donner la force et la persévérance de terminer ce livre de mémoire.

Mes vifs et sincères remerciements et que nous témoignons de notre profonde gratitude :

A notre très cher directeur, Monsieur ANTSONANTENAINAHARIVONY Ononamandimby, le directeur de l'IESAV pour avoir organisé toutes les activités.

Les membres du jury :

- Madame RAKOTOSON Luciano Tatiana, Docteur en agro biotechnologie et présidente du Jury et à la fois chef de parcours.
- Monsieur RAFALY Andriaharimalala Tsilavina, Ingénieur agronome et encadreur pédagogique.
- Monsieur RAHERINAIVO Harifetra Erick, Ingénieur agronome et examinateur.

J'accorde aussi mes remerciements au :

- A notre chef de mention, Monsieur ANDRIAMAMPIANINA Herizo Lalaina, Docteur en biochimie.
- Directeur du CEFFEL dirigé par Monsieur RASAMIMANANA Noelinantenaina Andry qui m'a permis d'effectuer ce stage.
- Formateur et responsable centre ANDRANOBE, Monsieur RATSIMBAZAFY Herilaza qui est mon encadreur professionnel.

Et pour terminer je dédie un magnifique remerciement à ma mère qui est toujours là pour m'avoir soutenu physiquement et moralement dans l'accompagnement de ce stage.

Et à tous les personnels du CEFFEL, qui était très accueillant pendant mon période de stage et la famille et les amis qui m'ont soutenu durant l'aventure.

RESUME

L'élevage d'invertébrés est un tout nouveau concept d'élevage dans laquelle les techniques simples et à moindre coût, par ailleurs il demande des conditions favorables bien respecté dans laquelle son système de production soit en continu : la température, l'humidité, le pH, l'aération et d'autres paramètres. La comparaison de cette étude a pour objectif généralement de comparer deux élevages d'invertébrés bien distincts sur leur conduite : l'élevage de Black Soldier Fly et l'élevage de vers ou vermiculture associé au lombricompostage au sein du CEFFEL ; la Chine est placée en première tête dans leur production le BSF est de 600000 tonnes/an mais comme la lombriculture est associé au lombricompostage le chiffre de production de lombricompost est de 1,2 Millions/an et par rapport à Madagascar, les deux élevages évoluent peu à peu dans le secteur. Les matériels utilisés sont les Black Soldier fly et les lombrics et les matériels techniques de caque élevage mais toutefois les méthodes utilisées se résume sur la synthèse bibliographique, l'observation et la pratique. Le résultat correspond aux conditions d'élevages, le cycle de reproduction, l'apport en substrat et leurs coûts. En revanche, les 2 élevages peuvent être des nouvelles perspectives pour le développement du secteur primaire de Madagascar, leurs points communs est leurs utilisations dans la bioconversion utilisé dans l'agriculture et source d'alimentation biologique animale.

Mots-clés : Black Soldier Fly, vermiculture, bioconversion, lombricompostage, lombricompost, CEFFEL

ABSTRACT

The breeding of invertebrates is a completely new concept of breeding in which the techniques are simple and at lower cost, moreover it requires favorable conditions well respected in which its production system is continuous: temperature, humidity, pH, aeration and other parameters. The general objective of this study is to compare two very distinct invertebrate farms in terms of their management: the Black Soldier Fly farm and the worm farm or vermiculture associated with vermicomposting within CEFFEL; China is at the top in their production, the BSF is 600,000 tonnes/year but as vermiculture is associated with vermicomposting, the vermicompost production figure is 1.2 million/year and compared to Madagascar, the two farms are evolving little by little in the sector. The materials used are Black Soldier flies and earthworms and technical breeding equipment, but the methods used boil down to bibliographic synthesis, observation and practice. The result corresponds to the breeding conditions, the reproduction cycle, the substrate supply and their costs. On the other hand, the 2 livestock farms can be new perspectives for the development of the primary sector of Madagascar, their common points are their uses in bioconversion used in agriculture and source of organic animal food.

Keywords : Black Soldier Fly, Bioconversion, vermiculture, vermicomposting, vermicompost, CEFFEL

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS.....	i
RESUME.....	ii
TABLE DES MATIERES	iii
LISTE DES TABLEAUX	v
LISTE DES FIGURES.....	vi
LISTE DES PHOTOS.....	vii
LISTE DES ABREVIATIONS ET UNITES	viii
LISTE DES ANNEXES	x
GLOSSAIRE.....	xi
INTRODUCTION.....	1
PARTIE I : CADRE DE L'ETUDE.....	3
CHAPITRE I : GENERALITE ET NOTION.....	3
I. Etat de l'art :	3
II. Classification systématique des vers et du Black Soldier Fly :	12
III. La lombriculture et le Black soldier fly dans le monde :	13
IV. La lombriculture et le BSF à Madagascar :	14
V. Utilisation de la lombriculture et élevage de BSF et Lombricompost :	15
CHAPITRE II : ORGANISME D'ACCUEIL : CEFFEL ANDRANOBE.....	17
I. Historique et généralités :.....	17
II. Objectifs :.....	17
III. Superficie du terrain :	18
IV. Electricité et eau :.....	18
V. Activités au sein de l'organisation :.....	19
VI. Organigramme du CEFFEL :.....	20
PARTIE II : MATERIELS ET METHODES.....	21
CHAPITRE I : MATERIELS :	21
I. Matériels biologiques :.....	21
II. Matériels Technique de chaque élevage :	21

CHAPITRE II : METHODOLOGIE D'ETUDE :	26
I. Technique de collecte et technique des 2 élevages :	26
II. Limites du travail :	32
PARTIE III : RESULTATS, DISCUSSION ET RECOMMANDATIONS.....	33
CHAPITRE I : RESULTATS	33
CHAPITRE II : DISCUSSION	37
I. Black Soldier Fly :	37
II. Lombriculture :	40
III. Les maladies :	43
IV. Ennemis des 2 élevages :	44
CHAPITRE III : RECOMMANDATION	45
I. Lombriculture :	45
II. Black Soldier Fly :	45
CONCLUSION.....	47
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	49
REFERENCES WEBOGRAPHIES.....	52
ANNEXE	I

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Liste des nourritures suggérer et non pendant l'élevage	6
Tableau 2: Classification des vers	12
Tableau 3 : Classification du BSF.....	13
Tableau 4: Liste des pays producteurs principaux de lombricompost	13
Tableau 5: Liste des pays principaux producteurs de BSF	14
Tableau 6: Comparaison entre la lombriculture et l'élevage de BSF.....	33
Tableau 7: Coûts d'acquisition larves et lombrics	35
Tableau 8 : Coûts matériels lombrics	36
Tableau 9: Coûts matériels BSF.....	36

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Lombriculture	4
Figure 2: Cycle de reproduction des vers	5
Figure 3: Larves de BSF.....	7
Figure 4: Black Soldier Fly	7
Figure 5: Cycle des mouches soldats noires inspiré du travail d'Allivenja,2022.....	8
Figure 6: Pré pupes et pupes	10
Figure 7: Accouplement et oviposition des BSF.....	11
Figure 8: Organigramme du CEFFEL.....	20
Figure 9: Dimension du site d'élevage	22
Figure 10: Chambre noire	23
Figure 11: Love cage.....	25
Figure 12: Introduction des vers.....	28
Figure 13: Etape des séparations des vers	29
Figure 14: Différents types de vers	III
Figure 15 : Engrais minéraux	V
Figure 16 : Engrais organiques.....	V

LISTE DES PHOTOS

Photo 1: Œuf de BSF.....	9
Photo 2 : Larves de BSF.....	9
Photo 3: CEFFEL	17
Photo 4: Site de lombriculture au niveau du CEFFEL.....	22
Photo 5: Love cage.....	24
Photo 6: Lombricompost non tamisé	30
Photo 7: Substrat de ponte et pondoir	32

LISTE DES ABREVIATIONS ET UNITES

ABREVIATIONS :

AFD : Agence Française de Développement

BSF : Black soldier fly

BSFL : Black soldier fly larvae

CEFFEL : Centre d'Expérimentation et Formation en Fruits Et Légumes.

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture/ Food and Agriculture Organization of the United Nations

FFA : Formation des Formateurs Agricoles

FIFATA : Fikambanana FAmpivoarana ny TAntsaha

FLAEF : Ferme Lombricole AgroEcosystèmes Farihitsara

JIRAMA : Jiro sy Rano Malagasy

MSN : Mouche soldat noire

PH : Potentiel d'hydrogène

UE : Union Européenne

UICPA : Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée

UNITES:

Ar : ariary

A : are

Cm : centimètres

H : hauteur

Kg : kilogrammes

Km : Kilomètres

L : longueur

l : largeur

m : mètre

m² : mètre carré

t : tonnes

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Les avantages de l'utilisation de lombricompost	I
Annexe 2 : Les différents types de vers	I
Annexe 3 : Les différents types de déchets.....	IV
Annexe 4 : Les différents types de fertilisants	V

GLOSSAIRE

Acclimater : Etat d'un être vivant qui s'habitue à un autre climat par rapport à son pays natal.

Attractant : Terme utilisé pour décrire quelque chose qui possède la capacité d'attirer l'intérêt.

Bioconversion : Transformation des matières organiques comme les déchets animaux ou végétaux par l'intermédiaire des microorganismes ou des organismes vivants.

Consistance : Etat d'un corps dont laquelle une matière prend un degré plus ou moins solide.

Energivore : Manière dans laquelle l'énergie est dévorée considérablement.

Hydrosolubles : qualifie un corps et ou une matière soluble dans l'eau.

Liposolubles : Qualification d'un corps et ou une matière soluble dans la graisse.

Lucifuges : Comportement dans laquelle un être vivant fuit la lumière.

Oophagie : Etat d'un organisme vivant dans laquelle son régime alimentaire est composé d'œufs.

Photosensibles : Etat dans laquelle un organisme vivant est sensible aux radiations lumineuses.

Syntopiques : Deux espèces vivent dans la même aire géographique et des conditions favorables permettant leur existence.

Substrats : Base riche en éléments nutritive qui est indispensable pour le développement d'un organisme.

Saccharophilie : Caractère d'un être vivants passionné par le sucre.

Vermivore : Organismes se nourrissant de vers.

INTRODUCTION

L'alimentation des êtres vivants animales ou végétales vient du sol. C'est grâce à son pouvoir si les organismes que ce soit de catégorie microorganismes et macroorganismes peuvent vivre. En outre, le sol fournit quatre services bien distincts au sein de l'environnement : des services d'approvisionnement, des services régulateurs, des services d'appuis, de services culturels. L'entraînement de la dégradation du sol signifie la perte de productivité potentielle et réelle observée lorsque des techniques agricoles et des gestions forestières non viables sont appliqués. Dans le dictionnaire le Robert, l'élevage est défini comme l'ensemble des techniques permettant de les faire naître, de veiller à leur développement, leur entretien et leur reproduction. L'élevage représente 40% de la production agricole mondiale. Il assure les moyens d'existence et la sécurité alimentaire de 45 millions d'éleveurs dans les pays développés et 1,3 milliard dans les pays en développement¹.

En outre l'élevage évolue au cours du temps et le représenter sous deux formes ; d'un côté l'élevage des animaux domestiques qui regroupe les animaux dont la consommation assure l'alimentation humaine généralement et d'un autre côté, le mini élevage qui est une notion introduite en 1984 par Noël Vietmeyer, puis en 1991 par la sortie du livre intitulé « Microlivestock : littleknown small animals with a promising economic future » (National Academic Press, USA) dont l'élevage désigne d'espèces sauvages de petite taille, tant invertébrés (annélides, mollusques, insectes, chenilles, papillons) que vertébrés (oiseaux, rongeurs, grenouilles, reptiles), qui sont d'usage commun pour l'alimentation humaine ou animale ou comme source de revenus, et dont le potentiel n'est pas encore totalement exploité (Hardouin, 1995) de plus son avantage est qu'il peut être monté à partir des espèces consommées par les gens d'une région et les animaux produits sont nourris à base de coproduits agricoles, utilisant une quantité d'eau faible qu'un élevage de bovins, déroulant dans des petits espaces et produisant au total moins de pollution (Lavette, 2013). Par ailleurs, les invertébrés agissent directement sur le bon fonctionnement du service écologique et garantir son équilibre, c'est grâce à ses organismes si l'environnement peut garder sa régularité et de plus assure un service écosystémique notamment dans la décomposition de la matière organique et participent au recyclage des nutriments en dirigeant les biodéchets qui sont des nouvelles adoptions d'initiatives qui peuvent se présenter face à la dégradation, des méthodes pratiques non énergivores et naturelles peuvent s'envisager.

¹ <http://www.la-viande.fr>

Notamment dans cette étude, une comparaison entre deux mini élevage est effectuée entre le Black Soldier Fly [*Hermetia illucens*] et la lombriculture [*Eisenia foetida* (Savigny,1826) et *Eisenia andrei* (Bouche, 1972)] (vers syntopiques) qui sont des organismes vivants ayant les mêmes points communs et les mêmes objectifs concernant sur la valorisation et la transformation des déchets en intrant biologique destiné à l'agriculture et en tant qu'alimentation animale pour la production et la bonne santé de l'élevage. Ainsi le problématique se cadre dans la question suivante : « l'élevage de BSF est plus commode que la lombriculture ? L'objectif globale de cette étude se base sur la détermination de la simplicité de l'élevage de BSF par rapport à la lombriculture. Et notamment 2 objectifs spécifiques ont été émise : comparer les techniques de développement entre les deux élevages et d'évaluer les conditions de vie de chaque individu. Les hypothèses qui peuvent être appliquées sur l'étude sont : les techniques appliquées sur l'élevage de Black Soldier Fly ne demandent pas beaucoup de ressource face à la lombriculture et l'élevage de Black Soldier Fly ne requiert des dépenses importantes par rapport à la lombriculture.

De ce fait cet ouvrage comporte 3 parties : la première partie sera consacrée à la cadre de l'étude puis ensuite il y a la deuxième partie parlant des matériels et méthodes et à la fin il y a les résultats suivis d'une discussion.

PARTIE I : CADRE DE L'ETUDE

CHAPITRE I : GENERALITE ET NOTION

I. Etat de l'art :

La première partie concerne les notions et les généralités sur la lombriculture et l'élevage de BSF.

I.1. Notion de l'élevage d'invertébrés :

L'élevage d'invertébrés est une pratique d'élevage dans laquelle on utilise des animaux ou êtres vivants ne possédant pas d'anatomie spécifique par rapport aux animaux d'élevage vertébrés qui sont domestiqués et dans lesquelles leurs fins sont utilisés pour le bien de l'écosystème afin de garantir une viabilité commune au sein de l'environnement et à des productions de biofertilisants pour l'enrichissement en matière organique et la fertilité du sols qui est un élément important en tant que souche de l'alimentation animale et végétale et un facteur physique indissociable pour l'être vivant ou encore son élevage sont destinés à des produits d'alimentations animales pour un apport en nutriments énergétiques (Purshke et al., 2017) dans lequel son rôle agit directement sur le bon fonctionnement productive et l'état de santé animale.

Les biofertilisants sont des substances qui contiennent des organismes vivants telles les bactéries, les champignons, les algues dont le principal rôle c'est de favoriser le développement des plantes en augmentant la disponibilité des éléments nutritifs contenus dans le sol (Vessey, 2003). La commercialisation des biofertilisants a débuté avec le lancement du « Nitragin » de Nobbe et Hiltner (1896) par la culture en laboratoire des Rhizobium, puis de la découverte des Azotobacter. Les algues bleu-vert, Azospirillum et les mycorhizes à vésicule et à arbuscule sont des récentes découvertes (Pandiarajan et al., 2012).

I.2. Elevage des vers ou lombriculture et mode de vie :

I.2.1 Définition :

La lombriculture est l'élevage intensif de vers de terre appelés aussi les lombrics (Dominguez, 2004). Pour être clair, ce pratique vise uniquement sur la production de vers et utilisé par des fins économiques pour le producteur ou destinés à l'alimentation animale. Ces derniers absorbent les matières organiques en voie de décomposition et rejettent des déjections riches en oligo-éléments tels que Calcium, Magnésium, Azote, Phosphore, Potassium, ... De plus les catégories des vers étudiés appartiennent aux classes des épigés, Les vers de terre épigés vivent dans la litière en surface du sol ou dans des amas organiques (Card et al., 2004). Ils ne

creusent pas de galerie et ingèrent rarement du sol, contrairement aux espèces endogées et anéciques, mais ils ingèrent de grandes quantités de matières organiques (Pathma & Sakthivel, 2012).

Dans les études de Rasoloharisoa (2016) : la lombriculture traduit un élevage intensif de vers de terre. Il s'agit d'une biotechnologie qui transforme et valorise les matières organiques en biomasse de vers (Munrøe, 2008). Par contre, le lombricompostage est l'activité relative à la production d'amendement organique appelé "lombricompost". Il consiste en la transformation et recyclage des déchets par le biais des actions bénéfiques des vers de terre. Le point commun de la lombriculture et du lombricompostage est le fait qu'ils utilisent le ver de terre comme cheptel et les matières organiques en décomposition comme sources de nourriture. La différence entre la lombriculture et lombricompostage repose sur l'objectif de l'activité. La lombriculture a pour objectif de produire durablement et en grande quantité de la biomasse de vers de terre. Par contre, le lombricompostage a pour objectif de produire de lombricompostage (Munrøe, 2008). Dans le cadre de la lombriculture, le lombricompost constitue le sous-produit de la production de biomasse de vers de terre.



Figure 1: Lombriculture

SOURCE : fr.freepik.com

I.2.2 Mode de vie :

I.2.2.1 Durée de vie et Reproduction :

Elles ont une durée de vie entre 2 à 3 ans. Mais ça dépend au niveau de chaque espèce. Elle est de 2 ans pour les vers épigés, 5 à 7 ans pour les vers endogés et anéciques (Luckas, 2013). Les vers sont des organismes hermaphrodites c'est-à-dire possédant à la fois des organes mâles et femelles. La reproduction se fait entre deux vers. Le vers qui porte le cocon a besoin

de l'aide d'un autre vers afin de le détacher. Une fois détaché, le cocon est tombé. Les œufs ne nécessitent pas d'être couvés pour être éclos. Les cocons seront éclos après 21 jours dans la litière. Un cocon peut contenir 2 à 20 vermisseaux mais seuls 4 d'entre eux continueront la reproduction. Ces vers peuvent pondre 2 à 4 cocons par semaine (Rasoloharisoa, 2016) ; Un cocon a généralement la taille d'une tête d'allumette (Lee, 1985). Le poids varie entre 0,3 à 0,5 g.



Figure 2: Cycle de reproduction des vers

Source : Luckas, 2013 in Rasoloharisoa (2016)

I.2.2.2 pH :

L'acidité du milieu affecte également la vie des vers. Le pH approprié à l'élevage des vers est de 7,5 à 8,0 (Georg, 2004). Le contrôle du pH en cours d'élevage est très important puisque le pH du milieu a tendance à baisser avec le temps.

I.2.2.3 Mode d'alimentation :

L'alimentation des vers en élevage est constituée généralement de matières organiques, essentiellement d'origine végétale (Georg, 2004). Les fumiers, les résidus de culture, les ordures ménagères, les déchets publics biodégradables (Alexander, 1933). La quantité de nourriture ingérée par ses êtres vivants sont égales à la moitié de leurs poids en une journée. L'eau modérée est indispensable pour l'organisme pour s'hydrater non pour s'immerger.

Voici un tableau montrant les listes d'alimentation conseillers et non pour leur viabilité :

Tableau 1: Liste des nourritures suggérer et non pendant l'élevage

Nourritures conseiller	Nourritures déconseiller
Résidus de fruits et légumes	Résidus de viandes ou de poisson
Résidus de plantes sains	Corps gras (graisse, huile, beurre)
Œuf broyé	Résidus salés
Marc de café	Résidus vinaigrés
Riz et pâtes alimentaires	Fumier de poulet de chair
Herbe séchée, bois broyé	Ordures non périssables comme les plastiques
Papier, carton	Résidus de plante malade et Plante hallucinogène

Le marc de café est très bon pour la reproduction. Les coquilles d'œuf aident à la régulation du pH (Randriamanantsoa, 2014).

I.2.2.4 Température :

Elle peut vivre dans une température dont l'intervalle est compris de 20°C à 26° C. les vers de compost outrepassent au-dessous de 0°C et au-dessus de 35°C (CEFFEL ,2023).

I.2.2.5 Humidité :

La plage d'humidité adéquate pour l'élevage de vers de terre se situe entre 70 et 90 % (Dominguez et Edwards, 1997 in Randriamalala, 2013). La qualité d'humidité doit être modérée, ni trop humide ou/et ni trop sec. La redynamisation ou la réhydratation, se fait à partir de la bouse de vache mélangée à de l'eau (Ranaivoson, 2018).

I.2.2.6 Mode de respiration :

Les vers de terre ne possèdent pas de poumons ou des branchies. Les vers de terre ont une respiration cutanée qui n'est possible que si leur peau est maintenue humide (Bachelier, 1978 ; Herger, 2003). Ils respirent d'oxygène dissous dans l'eau (Herger, 2003), et leur respiration croît avec la température (Bachelier, 1978).

I.2.2.7 Lumière :

Ces êtres vivants n'en possèdent pas des yeux pour voir leur orientation mais ils sont photosensibles. L'exposition à la lumière est détestable pour ces organismes. Ils préfèrent les endroits obscurs. Les conditions de développement des vers doivent être mis en surveillance de

jour en jour, le facteur de productivité dépend du travail suivant le nombre, la quantité requis et les conditions favorable.

I.3. Elevage de BSF :

I.3.1. Définition :

L'élevage de BSF est une nouvelle perspective d'élevage dans laquelle par traduction « mouche soldat noire » ou MSN, un élevage de mouche mais d'une espèce assez spécifique. La MSN (*Hermetia illucens* L. 1758) a une aire de répartition d'origine s'étalant du sud de l'Argentine jusqu'au nord des États-Unis (Gujarathi et Pejaver, 2013) et s'est acclimatée sur tous les continents à l'exception de l'Antarctique mais le produit qu'on veut en tirer profit ce sont leurs larves ou Black soldier Fly larvae en anglais ou en une simple abréviation BSFL. Ce sont des insectes saprophages capables de recycler les déchets organiques. Ces insectes produisent d'un côté, des larves riches en protéines pour l'alimentation des animaux d'élevages (poissons, poules, porcs, ...) et d'un autre côté, de biomasses riches en nutriments pouvant être utilisées comme fertilisants organiques (Diener et al., 2009).



Figure 3: Larves de BSF

Source : fr.m.wikipedia.org



Figure 4: Black Soldier Fly

Source : www.bsf-kh.com

I.3.2. Mode de vie :

I.3.2.1 Durée de vie et cycle de reproduction :

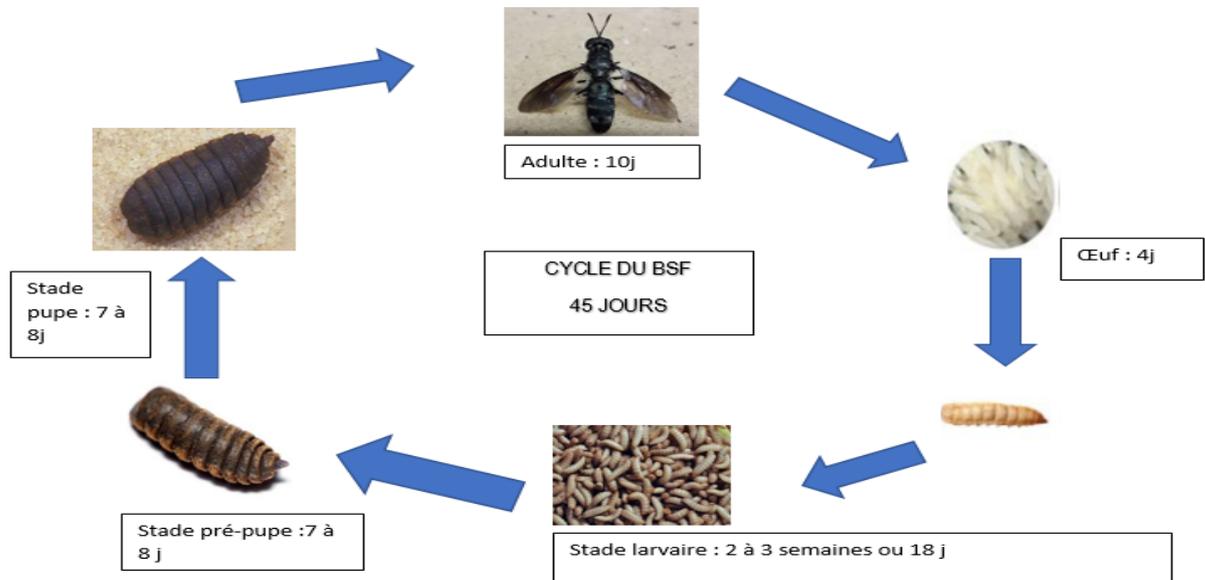


Figure 5: Cycle des mouches soldats noires inspiré du travail d'Allivenja,2022

Interprétation :

Le cycle de développement des mouches soldats noires dure 38 à 45 jours. Toutefois, la durée du cycle dépend principalement des conditions environnementales de l'élevage et du régime alimentaire (Tanga et al., 2017). Il existe 4 stades différentes : œuf, stade larvaire, stade pré-pupe, stade pupa et adulte.

a) Œuf :

Le stade commence après la ponte des adultes femelles. En effet, la ponte a lieu 2 jours après l'accouplement, et une mouche femelle peut pondre jusqu'à 500 œufs au cours de sa vie (Diclaro et Kaufman, 2009) ; Les femelles pondent à proximité de matières organiques en décomposition qui serviront de nourriture aux futures larves. Les jeunes larves mettent 4 jours avant d'éclore (Singh, 2019). Dans la nature, les femelles BSF déposent leurs œufs dans de petits interstices ou cavités proches de matière organique en décomposition (Tomberlin et al., 2002). De cette façon, les œufs sont protégés des prédateurs, du dessèchement et de l'humidité, et les larves sont à proximité de nourriture dès l'éclosion et commencent ainsi à s'alimenter immédiatement (Dortmans et al., 2017). Les œufs de BSF sont de couleur crème et mesurent en moyenne 1mm, ils sont pondus par amas de plusieurs centaines d'œuf.



Photo 1: Œuf de BSF

b) Stade larvaire :

Puis il y ensuite le stade larvaire, ce stade commence dès l'éclosion des œufs. En effet, l'incubation des œufs dure 4 jours pour aboutir à l'éclosion (Caruso et al., 2013). Les stades larvaires se différencient par la taille, la couleur ainsi que le développement des soies enveloppant le corps (Barros et al., 2019), L'ensemble des stades larvaires dure 2 à 3 semaines dans les conditions optimales (Tanga et al., 2017). Les larves de BSF sont voraces et passent toute leur vie de larve à se nourrir. C'est pendant cette période que les réserves de graisse et de protéines sont stockées (Barragan-Fonseca et al., 2017).



Photo 2 : Larves de BSF

c) Stades nymphaux :

Le stade larvaire final est le stade de pré-nymphe. Lorsqu'elle se transforme en pré-nymphe la larve remplace sa partie buccale qui lui servait à s'alimenter par une structure en forme de crochet et prend une couleur brune. Le crochet lui permet alors de se déplacer et de s'éloigner aisément de la source de nourriture vers un environnement propre et sec, pour entrer en nymphose (Barros et al., 2019). Elles cessent de se nourrir et migrent du substrat humide pour un environnement sec (Diener et al., 2011). Les pré-pupes hors du substrat se durcissent progressivement et deviennent immobiles. Les prénymphe se transforment en nymphes puis finalement en mouches. Ce processus dure 7 à 12 jours (Tanga et al., 2017) voir 15 jours maximum.



Figure 6: Pré pupes et pupes

Source : www.microworms.com

d) Stade adulte :

Les adultes émergent et se reproduisent lorsqu'ils sont sexuellement matures (2 jours après émergence). La durée de vie des mouches adultes est courte d'environ 5 à 14 jours au cours de laquelle elles se nourrissent principalement de la graisse emmagasinée durant le stade larvaire (Newton et al., 2005). Par ailleurs, il a été constaté que dans les unités de production (en élevage), les mouches adultes meurent peu après la reproduction. En effet, les mâles meurent peu après l'accouplement et les femelles après la ponte des œufs (Tomberlin et al., 2002). L'accouplement et l'oviposition s'opèrent en fonction du moment de la journée, de l'intensité de la lumière, de la température et de l'humidité relative (Tomberlin, 2016).



Figure 7: Accouplement et oviposition des BSF

I.3.2.2 Mode d'alimentation :

Les alimentations de chaque individu diffèrent selon les stades durant les formations reçus sur le site.

- Les larves de 2 à 3 semaines sont les décomposeurs des matières organiques dans laquelle ils établissent la bioconversion de la matière et s'assimilent en charges calorifiques provenant du substrat riche en élément nutritif qui seront consommés par divers types d'aliments (déchets ménagers, fruits et légumes en décomposition, déchets agricoles, effluents des animaux, ...) (Caruso et al., 2013).
- En outre, les pré-nymphes et les nymphes ne se nourrissent pas car ils sont déjà chargés en élément nutritifs et possèdent sa propre réserve alimentaire qui ont été ingérés pendant le stade larvaire.
- Et les adultes ne se nourrissent quasiment pas mais son espérance de vie est meilleure si elle a accès à une source d'eau ou d'eau sucrée (Bertinetti et al., 2019).

I.3.2.3 Température et humidité :

Les insectes sont des organismes dits « poïkilothermes ». Ainsi, plus la température de leur milieu est élevée, plus les insectes ont tendance à se développer rapidement avant d'atteindre un palier à partir duquel la température devient alors un facteur limitant. De manière générale, le *H. illucens* se développe de manière optimale entre 25 et 27°C, et à 60% d'humidité relative (Sheppard et al., 2002 ; Holmes, 2010 ; Barragan et al., 2017).

I.3.2.4 Lumière :

Les larves d'*H. illucens* sont lucifuges (Dortmans et al., 2017) tandis que les adultes sont dépendants de lumière pour réaliser leur reproduction. La lumière peut être d'origine naturelle (Park, 2016) ou artificielle (Zhang et al., 2010). Les larves évitent la lumière et ont tendance à s'enfoncer dans la matière organique d'une profondeur pouvant aller jusqu'à 10 cm (Dortmans et al., 2017).

I.3.2.5 pH :

Des valeurs de pH du substrat des larves comprises entre 6 et 10 induisent une meilleure croissance des larves et des poids plus élevés (Meneguz et Tomberlin, 2018). Les larves tolèrent cependant les milieux acides et sont capables d'augmenter le pH de leur substrat, cette capacité étant dépendante de la densité des larves. Plus ces dernières sont nombreuses plus cette modification sera rapide (Alattar, 2012 ; Caruso et al., 2014 ; Meneguz et Tomberlin, 2018).

II. Classification systématique des vers et du Black Soldier Fly :

Tableau 2: Classification des vers

CLASSIFICATION SYSTEMATIQUE		
	<i>Eisenia foetida</i> (SAVIGNY,1826)	<i>Eisenia andrei</i> (BOUCHE,1972)
Règne	Animalia	Animalia
Embranchement	Annelida	Annelida
Classe	Clitellata	Clitellata
Sous-classe	Oligochaeta	Oligochaeta
Ordre	Haplotaxida	Haplotaxida
Sous-ordre	Lumbricina	Lumbricina
Famille	Lumbricidae	Lumbricidae
Genre	Eisenia	Eisenia
Espèce	Foetida	Andrei
Nom vernaculaire	Vers de fumier	Vers de Californie

Source : Savigny (1826) et Bouche (1972)

Tableau 3 : Classification du BSF

CLASSIFICATION SYSTEMATIQUE	
<i>Hermetia illucens</i> (Linnaeus, 1758)	
Règne	Animalia
Embranchement	Arthropoda
Classe	Insecta
Sous-classe	Pterygota
Ordre	Diptera
Sous-ordre	Brachycera
Famille	Stratiomyidae
Genre	Hermetia
Espèce	Illucens
Nom vernaculaire	Black soldier fly ou mouche soldat noir

Source : Linnaeus (1758)

III. La lombriculture et le Black soldier fly dans le monde :

III.1. La lombriculture dans le monde :

Selon une étude de l'organisation des nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), le Lombricompostage est pratiqué par plus de 100 pays dans le monde. Les principaux pays producteurs sont classés par les ordres suivants : la Chine occupe la première place dans la production de lombricompost avec une estimation de 1,2 millions de tonnes de production. Ensuite il a ensuite en deuxième place le Japon et la troisième place les Etats Unis. En 2022, la production mondiale a été estimée de 2,2 millions de tonnes. Les données concernant sur les lombricultures ne sont pas encore présentes mais ces chiffres peuvent être des indicateurs dans lesquels la lombriculture est la plus pratiquée.

Tableau 4: Liste des pays producteurs principaux de lombricompost

Pays	Production en tonne estimation
CHINE	1,2 millions
JAPON	0,5 millions
ETATS-UNIS	0,3 millions
Allemagne	0,2 millions
France	0,1 millions

Source : FAO, 2022

III.2. L'élevage de Black soldier fly :

Par rapport aux lombricultures, la production de BSF est en plein essor dans de nombreux pays du monde, en raison de ses nombreux avantages. Selon le FAO, La Chine est le principal producteur de BSF, avec une production de 600 000 tonnes en 2020. Les États-Unis sont le deuxième producteur de BSF, avec une production de 200 000 tonnes en 2020. La Thaïlande est le troisième producteur de BSF, avec une production de 100 000 tonnes en 2020 ; La consommation de larves de BSF est en croissance constante dans le monde, et il est prévu qu'elle atteigne 1,2 million de tonnes en 2025. Toute fois Les résidus des déchets traités par les larves d'*H. illucens* peuvent aussi être utilisés comme intrants pour la fertilisation des terres agricoles (Van Huis, 2019).

Tableau 5: Liste des pays principaux producteurs de BSF

Pays	Production estimative en tonne
CHINE	600.000
ETATS-UNIS	200.000
THAÏLANDE	100.000

Source : FAO, 2022

IV. La lombriculture et le BSF à Madagascar :

L'espèce de ver (*Eisenia foetida*) utilisé dans le lombricompostage a été introduite à Madagascar dans les années 90 (ANDRIAMADY, 2001) ; de plus un projet de lombriculture avec de l'espèce de ver locale a déjà été entrepris en 1987 au sein de la ferme truiticole de Manjakatampo-Ambatolampy mais malheureusement, il est soldé par un échec pour des raisons ignorées (RARIVONANDRASANA, 1999). Depuis lors, il n'existe pratiquement plus de lombriculture au sens propre ^[20]. L'espèce de Black soldier fly à Madagascar est encore une nouvelle perspective d'élevage, peu de gens et d'association connaissent son intérêt, certains le prend comme sujet de moquerie car il est impossible d'élever des mouches, par ailleurs ses informations se répandent peu à peu dans les réseaux sociaux comme Facebook à travers des pages et des groupes et quelque poignée s'y intéresse et connaît la filière. Toutefois, des organisations et des associations tentent d'initier et œuvrent l'occupation aux agriculteurs. Elle se fait par le biais des formations et des visites. Mais toutefois le gouvernement sollicite encore l'activité sur la lombriculture non pour l'élevage intensif mais de son produit : le « lombricompost ».

V. Utilisation de la lombriculture et élevage de BSF et Lombricompost :

V.1. Lombriculture :

- La lombriculture est l'activité qui permet de mieux gérer les déchets solides quelque soit leur provenance (Georg, 2004).
- Elle contribue à l'assainissement et à la lutte contre les plantes envahissantes des marécages comme la jacinthe d'eau (Hardouin et Stievenart, 1991).
- Selon Ouahrani et Rached-Mosbah, (2001) la biomasse de vers de terre produite par la lombriculture est la meilleure solution pour résoudre les problèmes liés à l'approvisionnement en protéines des animaux d'élevage.
- Dans l'environnement, Les vers de terre sont l'un des ingénieurs physiques de l'écosystème qui renouvellent la structure du sol (Saurel et al, 2010) et jouent un rôle important dans les cycles biogéochimiques (Jandl et Wenzel, 2011). Et leur présence nous renseigne sur la fertilité du milieu et le mode de fonctionnement biologique des sols (G.Rico et al, 1981)
- La mise en œuvre de la lombriculture peut contribuer à la création d'emplois.
- Ils sont généralement utilisés dans la pêche.
- La mise en valeur des vers de terre est montrée comme source de protéines aux animaux d'élevage ou à l'homme, voire même comme source de médicaments (Guerrero, 2009).

V.2. Black Soldier Fly :

- Larves de BSF dont la composition nutritionnelle est aussi bonne que la farine de poisson et comparativement meilleure que celle du soja (Yu et al., 2009)
- Il a été rapporté que le stade larvaire réduit non seulement la quantité de déchets organiques, mais également le nombre d'agents pathogènes tels que *Escherichia coli* et *Salmonella* entérique de sérotype enteritidis sur le compost organique (Bullock et al., 2013 ; Erickson et al., 2004 ; Liu et al., 2008)
- Les larves d'insectes réduisent également la population d'insectes nuisibles qui sont soit des ravageurs, soit des vecteurs de maladies courantes causant des agents pathogènes tels que la mouche domestique commune (*Musca domestica*), provenant des zones situées autour des habitats des humains et des animaux domestiques (Bradley et Sheppard, 1984).
- Les larves et pré pupes de MSN sont une source de nutriments de qualité pour les volailles (Hale, 1973 ; SánchezMuros et al., 2014), les porcs (Newton et al., 1977 ; Laureati et al., 2016) et les poissons (Bondari et Sheppard, 1987 ; Cummins et al., 2017).

- Les pré pupes pourraient être un aliment alternatif approprié pour animaux pouvant substituer la farine de poisson, le son de blé et le maïs que nous utilisons actuellement pour nourrir le bétail (Makkar et al., 2014 ; Driemeyer, 2016).

V.3. Utilisation Lombricompost :

- Il est utilisé à l'amélioration de la structure du sol par l'augmentation des agrégats qui facilitent la pénétration des racines et favorisent l'exploitation.
- Il est exploité pour une meilleure perméabilité à l'air et à l'eau.
- Il est utilisé pour la réduction importante de l'érosion et diminution de la dessiccation par ventilation.
- Il contribue au réchauffement du sol car il permet l'augmentation de l'absorption des rayons solaires par sa couleur foncée.
- Le lombricompost fournit des substances nutritives progressivement assimilables par les plantes.
- Il est un moyen pour éviter une acidification du sol ou corrige l'acidité d'un sol par effet tampon.
- La présence de micro-organismes divers dans le compost permet l'augmentation de l'activité biologique du sol qui fixe par exemple l'azote de l'air ou rend assimilable par les plantes du soufre, du phosphore et des oligo-éléments.

Source : CEFFEL, 2023

CHAPITRE II : ORGANISME D'ACCUEIL : CEFFEL ANDRANOBE

I. Historique et généralités :

CEFFEL est une association créée en 2004 par l'initiative de la FERT et la FIFATA. Elle était inaugurée le 13 mars 2007 et sa mise en place a été assurée par le Ministère des affaires étrangères Français nommé : Monsieur Alain LEROY Ambassadeur de France à Madagascar et Monsieur Marius RATOLOJANAHARY Ministre de l'agriculture, de l'élevage et de la pêche. De juin 2007 jusqu'en mai 2011, il a été financé par l'AFD. Le CEFFEL a une collaboration avec le projet PRONUT à la fin de l'année 2012. Et actuellement, c'est l'Union Européenne (UE) qui finance le CEFFEL.

L'organisation a pour but d'initier et former les paysans, les techniciens à la pratique des cultures fruitières et maraîchères. Le centre est situé à 7 km à l'Ouest d'Antsirabe, dans la commune urbaine d'Antsirabe, Fokontany Ambohitsokina et se trouve face du lac Andranobe.



Photo 3: CEFFEL

Source : CEFFEL, 2023

II. Objectifs :

L'association fait partie du groupe FIFATA et adhère à la vision d'une « exploitation agricole familiale, professionnelle, compétitive et respectant l'environnement ».

La communauté a comme objectif général à l'amélioration du revenu des producteurs par la promotion des filières fruitiers et légumes. Notamment, ses objectifs peuvent être présentés ci-dessous :

- ✚ D'assurer pour les producteurs, futurs agriculteurs et techniciens agricoles dans le domaine arboriculture et maraîchères par une formation basée essentiellement sur la pratique.
- ✚ Améliorer la production précisément en fruits et légumes et la gestion d'une exploitation agricole familiale.
- ✚ Développer l'ensemble de production maraîchère et fruitière adaptée au condition pédoclimatique des hautes terres de Madagascar.
- ✚ Aider les producteurs à mieux vendre et mieux gérer leurs produits agricoles.
- ✚ De rassembler des informations techniques et économique sur les filières fruits et légumes.
- ✚ De réaliser des essais et des tests de comportement aux cultures fruitières et légumières et d'en diffuser les résultats.

III. Superficie du terrain :

Le site d'Andranobe possède une surface totale de de 20 ha, elle est répartie comme suit :

Des Terrains d'applications de 15 ha cultivables qui est subdivisé de 6,20 ha de vergers composé de 5 ha de vergers tempérés (pommiers, poiriers, pêchers, pruniers), et 1,20 ha d'agrumes (orangers, mandariniers, citronniers) et 2 ha pour les maraichages (parcelles d'essais, de démonstrations ou d'applications pour les stages et les formations) et des parcelles de riz pluvial, soja, maïs, haricot et pomme de terre en grande culture pendant la saison pluviale.

Au niveau de l'infrastructure, elle un possède un grand bâtiment en forme « U » de 550 m² de surface dont 3 salles de formation, 3 dortoirs pour les stagiaires, une salle de réunion, une cuisine, et d'autres pièces pour les personnels. De plus, il a 4 grands magasins de stockage pour les différents types de produits agricoles (semences, et autres), intrants (engrais – pesticides) et tous les petits matériels et outillages.

IV. Electricité et eau :

L'électricité au niveau de la communauté marche à l'énergie solaire tandis que l'approvisionnement en eau marche sur deux systèmes : d'un côté dépendant du JIRAMA et d'un autre l'utilisation du forage.

V. Activités au sein de l'organisation :

V.1. Formations :

- La formation sur la technique de production en culture maraichère et en arboriculture. Le CEFFEL offre des formations modulaires pour répondre aux besoins des producteurs qui proposent le thème de la formation.
- La formation au métier de conseil agricole qui dure 7 mois, basée sur la caractéristique du milieu paysan ; l'exploitation agricole et son environnement ; l'outil de gestion d'aide à la décision et à la technique d'animation de formation, de conseil.
- La formation des formateurs agricoles ou FFA basée sur la pédagogie/andragogie : technique d'animation, gestion de groupe et communication.

V.2. Expérimentation/Exploitation agricole :

C'est un outil pédagogique observatoire d'une agriculture paysanne et offre des possibilités de solution aux producteurs.

L'ensemble des travaux agricoles de l'exploitation fait l'objet d'enregistrement, base de l'outil pédagogique du CEFFEL.

Les références sont diffusées, elles constituent une véritable base de données sur les cultures fruitières et légumières, aussi bien sur les techniques agricoles que sur les notions économiques.

L'expérimentation fournit des réponses techniques et économiques précieuses à la demande des paysans en formation, des conseillers agricoles des visiteurs.

Le CEFFEL diffuse les résultats des essais et expérimentations et plus largement des données technico-économiques sur les fruits et légumes par le biais de ses formations, des visites, des partenaires de FIFATA, des collègues agricoles.

VI. Organigramme du CEFFEL :

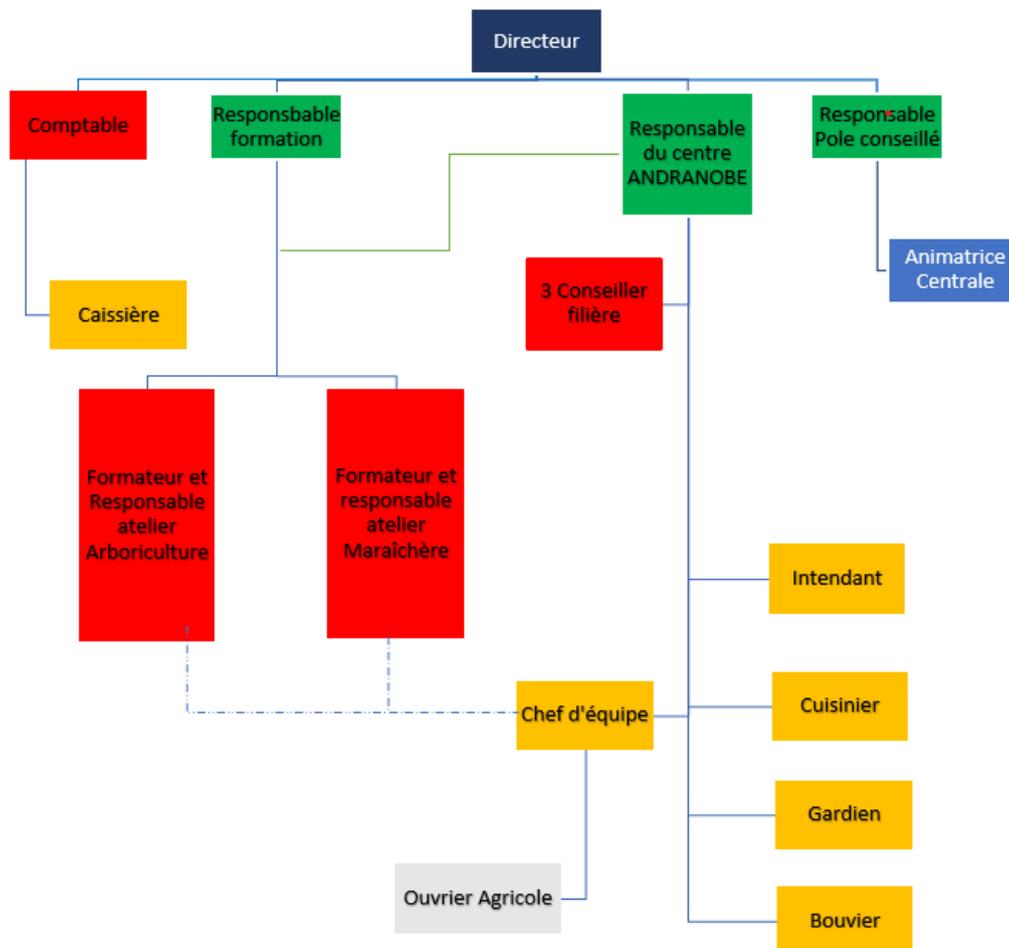


Figure 8: Organigramme du CEFFEL

Source : CEFFEL, 2023

PARTIE II : MATÉRIELS ET MÉTHODES

CHAPITRE I : MATÉRIELS :

Le stage a commencé le 17 juillet 2023 et se termine le 17 octobre 2023 ceci dit pendant 3 mois et demi. Il a été accompli au sein du CEFFEL. Le travail commence à 08h du matin et se termine à 12h et parfois à 16h, du lundi au vendredi. Le soir et les week-ends sont consacrés à la documentation et au triage de toutes les informations collectées pour la conception de ce présent livre.

I. Matériels biologiques :

Concernant les espèces de vers utilisées dans cette présente étude sont les vers d'*Eisenia foetida* connu aussi sous le nom de « vers rouge » ou « vers de fumier » et *Eisenia andrei* appelé aussi vers de Californie qui sont des vers utilisés souvent dans la lombriculture et le lombricompostage. Et également l'espèce *Hermetia illucens* ou de nom vernaculaire Black Soldier Fly qui est aussi utilisée dans cette présente étude.

II. Matériels Technique de chaque élevage :

II.1. Lombriculture :

Le processus de lombriculture au sein du centre se déroule dans des andains divisés en 3 lots. C'est le local d'élevage des vers où aura lieu le développement du vers et le lombricompostage. Pour que lombrics vivent et produisent, ce dernier doit remplir toutes les conditions écologiques des vers telles que l'humidité, la température, l'obscurité. Les types d'habitat sont structurés sous diverses formes ; Les types de structure les plus utilisés sont les fosses, les cases et les bacs ou caisses (MUNRÖE, 2008). Dans le cas du CEFFEL d'après le responsable du site l'élevage a fait ses débuts dans des bacs plus exactement dans des plateaux puis au cours du temps les vers évoluaient d'où le site fut remplacé par des andains. Les andains sont disposés de bloc de brique par brique maçonné et présente une toiture en bois et en paille mais actuellement en tuile. Ces andains doivent être construit avant l'introduction des vers. Le site possède une surface de 48,62 a. Les andains sont de forme rectangulaire avec une longueur de 25,3 m et de largeur mesurant 1m et d'une hauteur de 95cm et de profondeur de 15 cm recouverte par une grande bâche au fond. Chaque case est séparée de 91,44 cm ou de 3 pieds pour former un couloir. D'autant plus l'intérieur est séparé de 11 intervalles pour chaque lot et les produits en sortant sont égaux. Un site lombricole doit être installé à l'abri du vent dominant mais toutefois de bonne aération (Munröe, 2008).

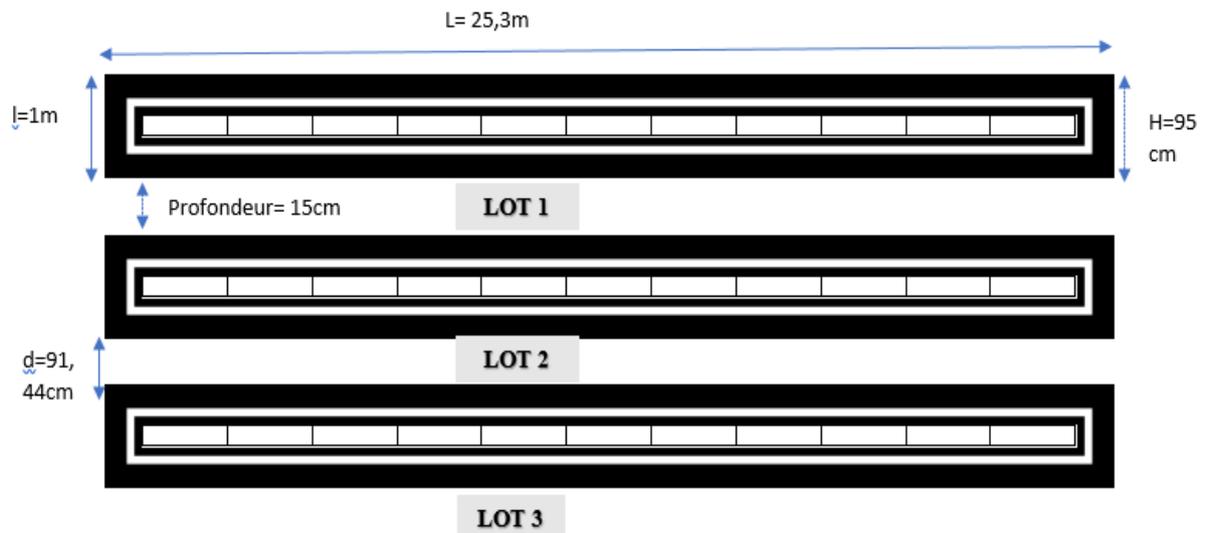


Figure 9: Dimension du site d'élevage



Photo 4: Site de lombriculture au niveau du CEFFEL

II.2. Black Soldier Fly :

L'élevage de BSF nécessite 3 matériels :

- Les plateaux ou les bacs d'engraissement ou le larvarium
- Une chambre noire ou le puparium
- Un ou deux love cage ou l'insectarium.

II.2.1. Les bacs d'engraissement :

Les bacs d'engraissement ou le larvarium est un endroit destiné au développement des larves une fois les œufs éclos. En effet, les œufs collectés seront transférés dans des plateaux d'éclosion avec des substrats. Après l'éclosion, les larves sont réparties dans plusieurs plateaux pour éviter la surpopulation (Tanga et al., 2017). C'est les lieux où les larves se développent dans laquelle on y met le substrat et de dimension et de nombre variés selon l'utilisateur et présente les conditions nécessaires pour la croissance des BSFL apporté par le substrat. Les larves y sont alimentées de manière journalière par un apport direct de nourriture en surface (van Huis et Tomberlin, 2018). Il est également plus aisé de réaliser le nettoyage des bacs entre deux inoculations ce qui présente l'avantage de réduire le risque de parasitage des larves ou la transmission de potentielles maladies.

II.2.2. Une chambre noire :

Selon une source anonyme, la chambre noire est une chambre dans lesquelles les prénymphe et les nymphes réalisent leur métamorphose. Les chambres peuvent être construites par des simples matériaux en utilisant une simple couverture dont l'oxygène peut traverser et des petits trous dans laquelle les BSF adultes peuvent y traverser et un plateau selon les dimensions voulues ou le nombre voulu. C'est un endroit sec et à l'abri de la lumière destinée à

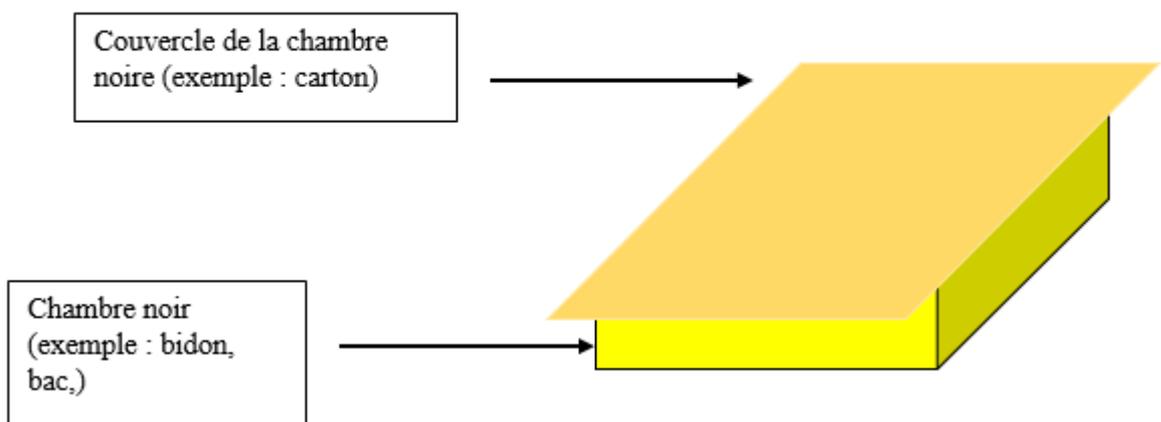


Figure 10: Chambre noire

l'emplacement des pupes jusqu'à la transformation en mouches adultes (Caruso et al., 2013). Et de plus (Tanga et al., 2017) affirmé que la transformation des pupes en mouches nécessite un endroit sec et ombragé.

II.2.3. Le love cage :

Le love cage est une boîte de forme cubique dans laquelle les BSF adultes réalisent l'accouplement avec un espace assez suffisant. Elle peut être construit en utilisant des barres de fers soudés entre eux ou à partir de bois de menuisier cloué entre eux et recouvert d'une voile pour empêcher les mouches de s'échapper et comportant une fermeture coudée sur la voile. La hauteur du love cage doit être au moins de 1,5 m pour favoriser le vol nuptial (Tomberlin and Sheppard, 2001). Après la ponte, les œufs sont généralement recueillis dans des ondulations ou des cannelures de cartons qui servent de pondoirs (Tanga et al., 2017). Les adultes s'accouplent en plein vol (Caruso et al., 2014), c'est pourquoi les mouches sont maintenues dans des volières. Un attractant olfactif composé de matières organiques en décomposition attire les femelles qui pondent naturellement à proximité de la future nourriture de leurs larves doivent être disposé dans l'insectarium pour attirer les femelles au moment de la ponte (Dortmans et al., 2017 in Allivenja,2022). Des pondoirs disposés proches de l'attractant offrent des interstices favorisant l'oviposition et facilitant la récolte des œufs. Ces derniers sont ensuite incubés sur un substrat riche (composé de farines et de houblon) afin de favoriser le développement des premiers stades larvaires. Les larves âgées de cinq jours sont ensuite transférées dans des bacs de grossissements jusqu'à leur récolte. Le CEFFEL dispose de deux love cage, d'une de dimension de 100*60*1,6 et l'autre de 70*60*1,6.



Photo 5: Love cage

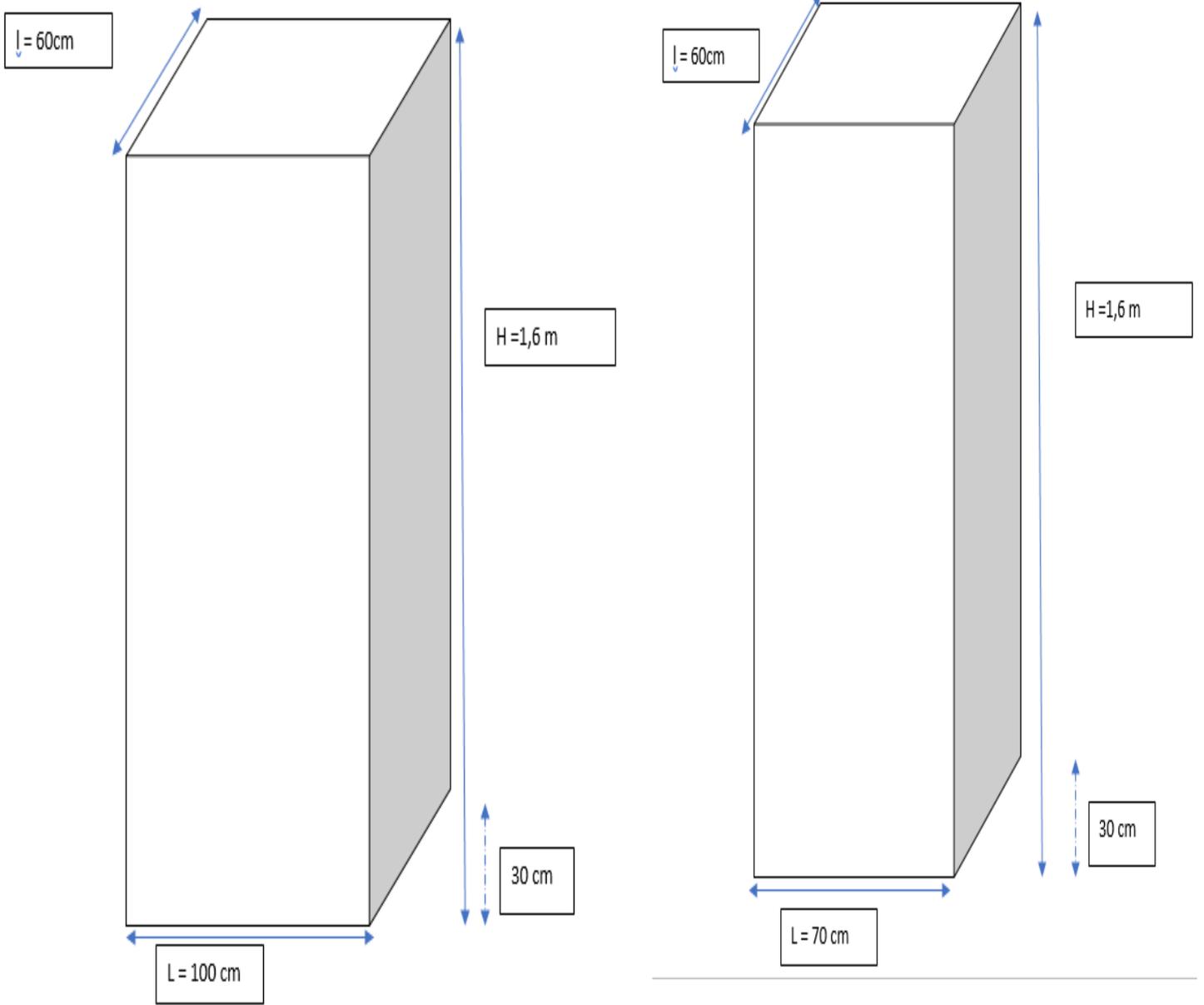


Figure 11: Love cage

CHAPITRE II : METHODOLOGIE D'ETUDE :

I. Technique de collecte et technique des 2 élevages :

I.1. Technique de collecte :

Ce présent rapport a été élaboré à partir d'une synthèse bibliographique dans lequel des documents ont été consultés et constitués par des ouvrages scientifiques, des mémoires de fin d'études, des fiches techniques données par le centre CEFFEL, et des revues scientifiques écrit par différents auteurs et des rapports annuels de la FAO, qui ont été collecté et regroupé dans ce présent livre. Et d'autant plus des recherches sur la navigation web sur le moteur de recherche « google » ont été effectué pour la collecte d'information sur les sujets comme : les 2 élevages dans le monde, les 2 élevages à Madagascar, leurs utilités, les techniques d'élevage de chaque individu. Sans oublier les cours académiques qui ont servi d'alimenter l'état de l'art. les formations reçues au niveau du CEFFEL permet une référence de base pour soutenir les recherches et ont servi de mot clé. La collecte de données et des informations ont été faites avant, pendant, et après le stage et se base sur des recherches bibliographiques et observation plus les pratiques. Cette phase est nécessaire car elle a pour ambition de décrire et de développer toutes les spécificités des enquêtes et de procéder à l'analyse.

Et par ailleurs, des questions ont été établit pour ouvrir une conversation orale aux seins des mains d'œuvres et des responsables du site pour mieux cerner l'étude ou encore d'échanger et/ou recevoir les informations via la communication téléphonique en sélectionnant les listes des numéros à téléphoner.

I.2. Techniques d'élevage de la lombriculture :

I.2.1. Préparation du substrat :

Ces matières sont indispensables pendant le processus de fabrication de lombricompostage, ce sont obligatoirement des matières premières facilement disponibles, tout en étant riches en nutriments regroupant des excréments de bétail pré-composté, du paille de riz et des résidus cultures

Le substrat qui va servir pour l'alimentation se prépare par les étapes suivantes :

- En premier lieu, les collectes des ingrédients utiles pour réaliser la fabrication du substrat qui implique : les déchets ménagers, les excréments de bétail, les urines d'animaux, les pailles de riz, les résidus de cultures.

- Ensuite découper les matières susceptibles d'être découpées comme les résidus de culture, les pailles de riz, les déchets ménagers et mélanger ensuite avec l'excrément du bétail pour obtenir une consistance crémeuse.

Les fumiers ici présents sont des fumiers conservés à l'air libre et loin de la lumière du soleil qui sont placés dans un endroit comme des hangars ou dans des magasins pendant une période de 1 mois et demi minimum et arroser 2 fois par semaine (FLAEF) de plus cette phase de préparation élimine les agents pathogènes, les graisses et les ammoniacales. Il permet de mélanger les différents constituants du substrat. Le pré-compostage permet également d'éviter une fermentation ultérieure durant le processus d'élevage. La fermentation affecte négativement le développement des vers (Rasoloharisoa, 2016). Le découpage en petits morceaux et le mélange de deux ou plusieurs types de matériaux permettent l'amélioration des caractéristiques de l'aliment des vers (Munroe, 2008).

- Ses provisions alimentaires doivent être élaborées avant 10 jours.
- Puis après, installer en arcade avec une hauteur comprise entre 50 à 60 cm sans oublier les couvertures en paille et fermenter avec des purins de consoude ou d'ortie sauf la tephrosia.
- L'alimentation est bien préparée grâce à l'indication de microorganisme de couleur blanchâtre
- La maturation dure de 1 à 2 semaines.

I.2.2. Introduction du vers :

Pour cette étape, elle suit les ordres suivants :

- Il faut remplir les andains par le substrat préparé et prêt avec la consistance voulue et atteint.
- Disperser les vers au-dessus du contenu et ils s'enfouissent dans le composant sans oublier après de couvrir le tout par des couvertures mortes.
- Et pour terminer arroser avec de l'eau pour garantir l'humidité.



Figure 12: Introduction des vers

SOURCE : CEFFEL,2023

I.2.3. Entretien de la lombriculture :

- L'entretien est une action primordiale pour le bon déroulement du processus. Elle consiste à surveiller l'activité afin de déterminer les problèmes et la sécurité des vers.
- En effet, les lombrics exécutent leurs tâches 24h /24, tout de même le mécanisme dépend de la quantité des vers et du pré-compost introduit.
- Il faut suivre la digestion des agents décomposeurs qui peut être déterminé par une diminution de la hauteur du contenant.
- Les contrôles de pailles sont indispensables par ailleurs et soustraire les matières non décomposables.

I.2.4. Séparation des vers et du lombricompost :

Cette étape consiste à dissocier les vers et le produit, dans le cas du CEFFEL, les pré compost sont retirés dans chaque case et ensuite placer dans des caisses ou des boîtes. Il faut ensuite renouveler les rations alimentaires et superposer le tamis au-dessous du récent substrat, Les mailles sont généralement de 3 à 5mm (Bogdanov, 1998 in Munrøe, 2008).

On occupe le tamis de pré-compost retiré selon la quantité reçu par ce dernier et on disperse les vers ; l'effet de la lumière et le vent n'est pas supportable pour les vers de plus pour rajouter ces derniers sont captivés par l'odeur du nouvel aliment mise en place et migre vers celui-ci progressivement avec une direction verticale.

Il faut après retirer le tamis et replacer les couvertures mortes de nouveau. Quelques retardataires devraient être encore présent, du coup on positionne la matière dans un lieu approprié, puis trouer au milieu et on piège les vers grâce à des aliments frais, c'est la migration

horizontale et les couvrir avec des couvertures mortes. Après une semaine minimum, on les retire et les faire retourner dans leur habitat d'élevage.



Figure 13: Etape des séparations des vers

Source : CEFFEL, 2023

I.2.5. Tamisage et séchage du lombricompost :

Cette dernière étape consiste à récolter le produit obtenu, elle consiste à tamiser sur un tamis fin le lombricompost puis ils sont séchés à l'ombre, à l'air libre et température ambiante pendant 15 à 21 jours. Le produit est ensuite mis en sac et prêt à la vente ou utilisé dans les surfaces cultivables et des essais d'expérimentation du centre. Les produits attendus de la lombriculture sont essentiellement des vers de terre vivants en l'occurrence des vermisseaux, des juvéniles et des adultes ; mais également des cocons (Munröe, 2008).



Photo 6: Lombricompost non tamisé

I.3. Technique d'élevage de BSF :

I.3.1. Préparation du substrat pour les larves :

Par rapport aux lombricultures, ils existent des similarités sur les ingrédients utilisés : les résidus de cultures, les fumiers du bétail (facultative), les déchets ménagers. Bien qu'elles aient un régime alimentaire diversifié, les larves de la mouche-soldat noire ont une préférence pour les ressources alimentaires végétales (Caruso et al., 2014 ; Scala et al., 2020). Le caractère humide des substrats de développement favorise l'ingestion alimentaire et réduit fortement la déshydratation des larves (Caruso et al., 2014).et que la profondeur du substrat doit être dans les dizaines de centimètre environ.

La méthode de préparation du substrat commence tout d'abord comme la lombriculture :

Les collectes des déchets au niveau des champs de cultures ou dans la cuisine. Puis il y a le découpage des matières en petit morceau afin de faciliter la digestion et le substrat

alimentaire doit être dans un processus de décomposition humide ou à l'état de bouillie prête à être absorbée à l'aide des pièces buccales de la larve.

Et ensuite bien mélanger avec du son de riz pour réduire la teneur en humidité des aliments et d'obtenir un substrat modéré et installer dans le bac puis mixer les larves et le substrat manuellement et laisser le processus se dérouler jusqu'à ce que le substrat diminue en volume et en obtenant une matière solide légère. Les quantités d'aliments apportés doivent être proportionnelles aux dimensions du bacs et aux nombres de larves afin d'éviter la concurrence alimentaire chez l'individu.

I.3.2. Récoltes des larves :

Si les conditions sont favorables, les larves peuvent être récoltées après 12 jours de croissance et développement dans le larvarium. Sinon, le cycle peut s'étendre de quelques jours voire des mois dans des mauvaises conditions. La récolte peut se faire de 2 manières. Il y a le procédé d'auto-récolte au cours duquel les prépupes migrent vers un endroit propre et sec pour entamer la phase de transformation en pupes ensuite en mouches adultes. La récolte peut aussi se faire à l'aide d'un tamis avec des mailles de 3 mm pour séparer les larves des substrats organiques (Dortmans et al., 2017).

I.3.3. Préparation du substrat de ponte :

Le substrat de ponte ou attractant est un substrat dans laquelle les BSF de sexe féminin vont pondre leurs œufs.

Le substrat est composé de matières organiques en décomposition de 1 semaines ou plus, il peut être de matière végétale ou des excréments animales ou des viscères animales ou encore des substrats préparés manuellement.

Il faut déposer le substrat dans des petites bacs et superposer le substrat par un passoir qui empêche les larves de BSF d'immerger dans le substrat et en tant que support de l'écloserie qui est constitué par des cartons ou des petits bois superposés entre eux et récoltés les œufs mais avant tout s'assurer que l'accouplement se déroule bien dans les conditions favorables et toujours vérifier la présence d'œufs de BSF sur les pondoirs qui reste installés en permanence de façon à entretenir un approvisionnement constant en œufs de BSF et ainsi à maintenir le cycle de production de larves de BSF.



Photo 7: Substrat de ponte et pondoir

II. Limites du travail :

En dépit des connaissances et le bon déroulement du stage au niveau du centre CEFFEL, les pratiques et l'étude des techniques de développement du lombricompost ; des limites néanmoins ont été distingué à savoir sur la comparaison des données économiques entre le Black Soldier Fly et la lombriculture car pour CEFFEL l'élevage de BSF est une activité récente et toutefois dans ses premières expérimentations d'où des résultats sur des comparaisons de productivité n'étaient pas effectuer et se limite juste sur les différences du coût d'élevages et les dépenses d'élevages. Des données de comparaison quantitative de production au cours d'un période n'est pas aussi présent pour l'élevage de BSF et la lombriculture.

PARTIE III : RESULTATS, DISCUSSION ET RECOMMANDATIONS

Le stage au sein du CEFFEL durant l'analyse nous a permis d'obtenir les résultats ci-dessous.

CHAPITRE I : RESULTATS

Tableau 6: Comparaison entre la lombriculture et l'élevage de BSF

Caractéristiques techniques développement	des de	Larves de BSF	Vers intensifs
Conditions d'élevage		Moins exigeantes	Plus exigeantes
Temps de croissance		1 à 2 semaines	2 à 6 mois
Substrat		Varié	Spécifique

Interprétation :

I. Conditions d'élevage :

Le lombriculture et l'élevage de vers de BSF sont des activités intéressantes toutefois l'élevage de BSF ne demande pas beaucoup de paramètres complexes de conduite d'élevage par rapport au système de la lombriculture. En effet l'élevage de BSF ne demande pas une quantité de surface assez considérable pour l'élever parce que les larves sont élevées dans des plateaux posés sur des étagères ou sur le sol et un lieu approprié dans lesquelles les conditions favorables sont toutes existantes et permettra son développement et que le cycle du système d'élevage commence toujours dans des plateaux puis dans la chambre noire, et ensuite les loves cage et revient dans les plateaux et se répète encore et encore mais il faut s'assurer des nombres et des dimensions du plateau et de la chambre noire.

Au contraire de la lombriculture, il évolue en productivité et en superficie, certes selon Munröe (2008) les types de structures d'habitat peuvent être dans des bacs ou des cases ou des caisses d'autant plus que l'élevage est toujours lié indissociablement par l'activité de lombricompostage, et que les vers ont besoin de se mouvoir et de se déplacer pour retrouver les conditions favorables au sein du substrat car selon Pelosi (2008), il a avancé que les vers peuvent migrer vers les lieux où les conditions de température et/ou d'humidité sont favorables en rajoutant la confirmation que les vers de l'espèce *Eisenia foetida* sont sédentaires, c'est-à-dire qu'ils ne quittent jamais leur habitat tant que les conditions leur y conviennent et elle est capable de manger une quantité de matières organiques équivalente de sa masse individuelle en un jour et de doubler sa population en 4 mois (Edwards & Arancon, 2004).

II. Substrat :

L'apport de substrat des BSF dans laquelle sa conservation et la maturation sont facultatives et que le substrat apporté est varié de plus la préparation ne nécessite pas beaucoup de matériels juste des couteaux pour découper les matières, le mélange se fait manuellement et un tamis pour tamiser la matière dégradée puis ensuite renouvellement. Selon Rasoanaivo (2023), 100 grammes de larves se nourrissent de cinq kilos de déchets organiques et ce tous les cinq à dix jours. De plus le substrat conditionne la vie des stades larvaires et impactant le développement des mouches.

L'apport est discontinu car seules les larves dont le nombre de jours de croissance est de 15 à 18 j ingèrent le substrat. C'est-à-dire que les 2 autres stades qui précèdent le stade adulte n'ont pas besoin d'ingérer une quantité de nourriture car au cours de leur période larvaire et préserve un stockage d'énergie suffisante qui est utilisé tout au long des 2 stades jusqu'à l'âge adulte mais par conséquent, son espérance de vie est meilleure si elle a accès à une source d'eau ou d'eau sucrée (Bertinetti et al.,2019). De plus la bouse de vache contient plusieurs microorganismes qui accélèrent le processus de décomposition des matières organiques, ajuste le pH et les constituants chimiques du substrat pour être favorable aux vers de terre et améliore les propriétés nutritives du lombricompost (SUTHAR, 2009) et l'odeur de la bouse de vache attire immédiatement les vers (Jakarian Easah ,2015)

Par contre au niveau du site lombricole, l'apport de substrat est continu. Comme le BSFL, le substrat conditionne la vie des vers et la préparation nécessite des avant préparation c'est-à-dire l'excrément de bétail doit être pré composté pendant un durée d'un mois minimum avec le nombre d'arrosage qui est égale à 1 ou 2 fois avec obtention d'une consistance de beurre noir (FLAEF) et que la préparation du substrat doit être prêt avant 10 j afin d'introduire les vers. La lombriculture est toujours associée au lombricompostage qui se définit comme la transformation des matières organiques par l'intermédiaire des agents décomposeurs notamment les vers de terre et que le produit retiré est le lombricompost. Et selon les mains d'œuvres et le responsable du site 1 kg de vers peut ingérer 0,2 à 0,3 kg de substrat par jour et que la dégradation du substrat peut durer environ 2 semaines à 1 mois si ls conditions sont favorables.

L'apport est dit continu car la présence du substrat dégradé ne suffit plus aux développements du vers et à leurs alimentations et leurs conditions d'élevage d'où on procède au tamis et au récolte des vers et des cocons retardataires afin de séparer l'engrais et les vers puis ils sont installés dans des nouvelles substrats jusqu'à répéter le cycle.

III. Cycle de reproduction :

D'après ce qu'on a vu le cycle des mouches soldat noir est très courte dont le nombre est de 45 jours dans les conditions favorables tandis que les lombrics ont une durée de vie de 2 à 3 ans. La croissance des larves de BSF se situe entre les 1 à 2 semaines selon Tanga et al. (2017) après éclosion des œufs en 3 à 4 jours et la période de croissance des lombrics se situe entre 2 à 6 mois avant d'atteindre l'âge adulte (Luckas, 2013).

Le nombre d'œuf pondue par les femelles varie en moyenne entre 320 et 620 œufs et meurent peu après (Tomberlin, Sheppard, et al., 2002) et en six semaines un kilo d'œufs peuvent produire 6 tonnes de larves transformées. Dans les cas des vers, Elles peuvent pondre 2 à 4 cocons par semaine dont Un cocon peut contenir 2 à 20 vermisseaux mais seuls 4 d'entre eux continuerons la reproduction (LUCKAS, 2013).

IV. Coût :

Tableau 7: Coûts d'acquisition larves et lombrics

Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire (Ar)	Montant (Ar)
Larve de BSF	Kg	2	60.000 ²	120.000
Prix du vers	Kg	9	150.000	1.350.000

Le tableau 7 montre que le prix des larves de BSF est de 60000 Ar le kilo et les œufs se vendent de 12.500 Ar le gramme qui composent au moins 37.000 larves assez suffisantes pour commencer l'élevage mais certains vendent les larves à 30.000 Ar³. Dans le cas du CEFFEL, les coûts des vers est de 150.000 Ar le kilos mais d'un autre cas elles se vendent dans les 400.000 Ar/kg (Rasoloharisoa, 2009).

2 <https://lexpress.mg>

3 <https://www.nocomment.mg>

Tableau 8 : Coûts matériels lombrics

Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire (Ar)	Montant (Ar)	Amortissement
Site d'élevage durant 5 ans					
Entretien territoire	H	6	4.000	24.000	4.800
Construction	H	20	4.000	80.000	16.000
Brique	Blocs	14.000	70	980.000	196.000
Sable	m ³	6	8.000	48.000	9.600
Ciment	Sac	6	34.000	204.000	40.800
Toiture (herbe, bois...)		1	42.000	42.000	8.400
Engrais	m ³	48	12.000	576.000	
Entretien	H	10	4.000	40.000	
Séparation d'engrais	H	10	4.000	40.000	
Total				2.034.000	275.600

Tableau 9: Coûts matériels BSF

Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire (Ar)	Montant (Ar)	Amortissement
Site d'élevage durant 5 ans					
Love cage		2	45.000	90.000	18.000
Chambre noir		2	4.000	8.000	1.600
Larvarium/écloserie		4	4.000	16.000	3.200
Entretien	H	3	4.000	12.000	2.400
Séparation d'engrais	H	3	4.000	12.000	2.400
Total				138.000	27.600

Le tableau 8 et le tableau 9 représente les coûts matériels de chaque élevage. Comme les tableaux l'indique, la lombriculture nécessite des sommes de dépenses bien supérieures qui est égale à 2.034.000 Ar par rapport aux dépenses de l'élevage de BSF qui équivaut à une somme de 138.000 Ar. Il est à remarquer que les ingrédients comme les résidus de cultures et les déchets ménagères sont fournis par l'organisation et qu'au niveau des salaires de mains d'œuvres le prix est maintenu de 4000 Ar mais l'activité de Lombriculture nécessite beaucoup de mains d'œuvres par rapport à l'élevage de BSF.

CHAPITRE II : DISCUSSION

I. Black Soldier Fly :

I.1.Larve :

Au cours de ce stage, des observations et des pratiques de conduite d'élevage ont été pratiqués et acquis. Toutefois l'élevage de BSF présente des défis. Malgré sa moindre exigence sur son mode de vie et ses conditions favorables et dans laquelle on a pu voir que le substrat est l'un des éléments cruciaux conditionnant son développement du stade larvaire jusqu'à son stade adulte car en effet le substrat est à la fois la nourriture et le milieu de vie des larves.

Par ailleurs, la larve de BSF est un organisme résilient qui a la capacité de prolonger son cycle de vie lorsque les conditions ne sont pas favorables (Dortmans et al., 2017). Et que les études de Gold et al., 2018 ; Nguyen et al., 2013) ont montré que les larves peuvent être récoltées après 15 à 52 jours selon les conditions du système de température, d'humidité, de régime alimentaire et de densité.

Pendant le stage le centre s'est disposé de 3 bacs ou 3 larvarium et le lieu de l'élevage s'est déroulé dans une petite salle près du site de lombricompostage. Les larves de BSF de poids égalant de 2 kg eu été accueillis le 17 juillet 2023 et les matériels nécessaires à l'élevage ont été déjà présent. L'installation s'est bien déroulée mais au cours du stage un des bacs a atteint une accident technique relative sur le facteur de température et en humidité, les conditions étaient défavorables pour les larves car le caractère du substrat était extrêmement humide et acide dû à la présence d'humidité non favorables à leur croissance et les restes d'orange et de citron, la situation était à peu près dans la situation du littérature de Cheng et al.(2017) dans laquelle on a recensé des problèmes d'anoxies dans les substrats à haute teneur en eau mais celui-ci est rajouté par la présence de l'élément acide. On a pu remédier le problème en ajoutant le substrat par une quantité de son de riz pendant 4 à 5 jours et les mélanger, et ils ont retrouvé leurs états normaux environ dans les 7 jours. Cependant des valeurs de pH du substrat des larves comprises entre 6 et 10 induisent une meilleure croissance des larves et des poids plus élevés (Meneguz et Tomberlin, 2018). Et cela peut confirmer que les larves tolèrent cependant les milieux acides et sont capables d'augmenter le pH de leur substrat, cette capacité étant dépendante de la densité des larves. Et que le nombre des larves présents influent la vitesse de modification selon (Alattar, 2012 ; Caruso et al., 2014 ; Meneguz et Tomberlin, 2018). Par ailleurs, La quantité d'aliments servie aux larves a un impact sur le processus de bioconversion. Une forte quantité d'aliments fournie submerge les larves et rend l'accès difficile aux

nutriments, tandis qu'une quantité insuffisante occasionne la compétition entre les larves (Banks et al., 2014 ; Rivers et Dahlem, 2014 ; Dortmans et al., 2017).

Une autre situation s'est présentée pendant le mois d'Août, un des substrats s'est structuré dont la consistance est compacte et présenté des débris non dégradés cela encore est dû à un accident technique pendant la préparation du substrat dû peut être par l'ajout supérieur de matière sèche. La situation s'est remédiée par l'enlèvement des larves et les déposés dans un autre bac puis on a renouvelé le substrat et remettre les larves dans le nouveau substrat, cette situation a pour conséquence dans laquelle le substrat est trop sec et les larves ne pourront plus assimiler les aliments. Le pH s'est avéré mortel pour les larves lorsque la valeur était inférieure à 2 alors que des valeurs comprises entre 6 et 8 favoriseraient la croissance et la bioconversion des larves (Ma et al., 2018). De plus Le développement des larves et leur survie sont directement influencés par la teneur en humidité du substrat dans lequel elles évoluent. De même Yu et al. (2014) ont démontré que les substrats avec un taux d'humidité de 30% entraînaient une forte mortalité des larves, et qu'un taux à 50% d'humidité menait à des larves plus petites et à une croissance plus lente par rapport à 70% d'humidité. Cette tendance est confirmée par l'étude de Barragan et al. (2017) qui renseigne des optimums d'humidité du substrat entre 52 et 70%. Et que Le développement des larves et leur survie sont directement influencés par la teneur en humidité du substrat dans lequel elles évoluent.

Selon une source anonyme, les larves de BSF supportent une température dont l'intervalle est de [$>13^{\circ}\text{C} - 44^{\circ}\text{C}$] et que la température optimum est de 23°C . La température du milieu a également d'importantes répercussions sur les larves. Selon Newby (1997), il a constaté qu'il y a une forte mortalité des larves à une température de 47°C et à l'opposé, une faible prise alimentaire est observée à de basses températures ($< 15^{\circ}\text{C}$) (Newby, 1997 ; Myers et al., 2014). Il a ainsi suggéré 35°C comme température d'alimentation optimale pour les larves (Newby, 1997 ; Cheng et al., 2017). Toutefois cette hypothèse a été contré par Tomberlin et al. (2009) a démontré qu'un meilleur taux de survie des larves et un développement plus rapide à 30°C qu'à 27°C ainsi qu'une mortalité importante à partir de 36°C . Cependant, les larves élevées à 30°C donnaient des adultes plus petits avec une durée de vie plus courte. Et les larves requièrent une température comprise entre 27 et 33°C pour faciliter la digestion des aliments d'après (Sheppard et al., 2002).

I.2. Adultes et œufs :

Entre le mois d'Août et mois d'Octobre, les adultes apparait après le stade de pupes. D'après Les larves d'*H. illucens* sont lucifuges (Dortmans et al., 2017) tandis que les adultes

sont dépendants de lumière pour réaliser leur reproduction. La lumière peut être d'origine naturelle (Park, 2016) ou artificielle (Zhang et al., 2010). On a remarqué que les adultes peuvent tolérer le froid car dans la région entre le mois d'Août et quelque partie du mois de Septembre étaient dans une saison froide et que l'apparition du soleil était impossible à déterminer pourtant les larves et les prépuces et les pupes peuvent tolérer une gamme de température de 23°C par contre les adultes ont besoin d'une température optimale comprise entre 25 et 32°C et que la lumière naturelle du soleil est un facteur de reproduction des adultes et encore la densité des mouches adultes est aussi un facteur de reproduction. Pourtant Pieterse et Pretorius (2014) ont signalé que la MSN tolère une large gamme de température et d'humidité avec des adultes qui s'accouplent généralement et pondent à des températures de 24°C à 36°C et selon Hoc et al., 2019 la production d'œufs est nécessaires au maintien de la population de l'élevage qui est influencée par la densité des mouches, plus la densité est élevée plus la quantité d'œufs sera importante. De plus sur le lieu d'élevage, une humidité relative de 70 à 80% soutient l'accouplement et l'oviposition (Park, 2016).

La présence des loves cages est importante car Les adultes s'accouplent en plein vol (Caruso et al., 2014), c'est pourquoi les mouches sont maintenues dans des volières. Entre 23 et fin Septembre, les conditions favorables pour la reproduction des adultes apparaissait peu à peu et commence à reproduire mais à part les conditions d'humidité n'était pas encore complète pour l'éclosion des œufs dû à un défaut matériel ; Holmes (2012) a déclaré qu'une baisse ou une hausse d'humidité aura un effet négatif sur l'éclosion des œufs et l'émergence des adultes. *H. illucens* peut tolérer des conditions d'humidité relative très élevées, jusqu'à 99% (Barragan et al., 2017). Toutefois, l'optimum de développement se situe dans une gamme de 60 à 70% humidité relative (Barragan et al., 2017). Dans ces conditions, la reproduction, l'oviposition ainsi que l'incubation des œufs sont favorisées. Si l'humidité relative descend sous les 30%, les œufs se dessèchent, ce qui a pour effets directs une plus grande mortalité et une espérance de vie des larves réduites (Singh, 2019). Mais par contre le développement des œufs était plus ou moins considérable pendant le mois d'octobre. Pour résumer les BSF adultes peuvent vivre dans une température environnante les 23 à 24 °C mais ne se reproduisent pas tant que le facteur de température est égal à 25° C minimum et 30°C maximum voir 36 °C selon Pieterse et Pretorius (2014).

Au sujet du love cage, le love cage de dimension 100*60*1,6 est apprécié par les BSF adultes par rapport au love cage de dimension 70*60*1,6. En effet l'espace permet de déterminer le comportement des BSF adultes et influent sa productivité et cela peut être

confirmé par des études réalisées par Sheppard et al. (2002) [in Allivenja, 2022] sur l'élevage de la mouche soldat noire qui a révélé que l'accouplement peut être réalisé de manière fiable dans une cage de 2 m x 2 m x 4 m, et dans une serre de 7 m x 9 m x 5 m fournissant de la lumière du soleil et un espace adéquat pour l'accouplement aérien.

Différents auteurs ont montré que le taux de survie, la période de développement et le rendement sont déterminés par différents facteurs tels que la température (May, 1961 ; Holmes et al., 2016), l'humidité relative (Holmes et al., 2012), la disponibilité des aliments (Diener et al., 2009) et la composition des aliments (Gobbi et al., 2013). *Hermetia* n'est pas très exigeante en matière de nourriture, mais son environnement artificiel doit répondre à certaines exigences. Des conditions climatiques appropriées sont décisives pour permettre un élevage sur le long terme. Un mode d'élevage adéquat et une alimentation conforme aux besoins sont des conditions fondamentales pour que l'élevage et l'engraissement soient efficace. Les exigences de l'*Hermetia* en matière de température ambiante varient en fonction de son stade de développement. Les mouches, les œufs et les jeunes larves ont besoin de 27 à 30 °C et d'une humidité relative d'au moins 60%.

II. Lombriculture :

II.1. Le besoin du fumier organique dans son développement :

Pour l'élevage de vers intensif, il est également vu que le substrat permet la croissance et le développement des vers et conditionne son mode de vie et présente ses conditions favorables. Tout d'abord, La bouse de vache contient plusieurs microorganismes qui accélèrent le processus de décomposition des matières organiques, ajuste le pH et les constituants chimiques du substrat pour être favorable aux vers de terre et améliore les propriétés nutritives du lombricompost (Suthar, 2009). De plus Jakarian Easah (2015) ajouté que l'odeur de la bouse de vache attire immédiatement les vers. Toutefois les bouses de vache sont indissociables aux autres ingrédients du substrat mais en revanche les autres ingrédients peuvent être indépendant de la bouse de vache car selon Andrianisaina (2017) même si le produit (lombricompost) est bien meilleur avec l'apport de fumier qui est couramment utilisé comme substrat. En outre, en obtenant des résultats satisfaisants avec le mélange des matières sans bouse de vache, le lombricompostage serait donc possible même en l'absence de cette matière si les matières organiques sont diversifiées qui contre tout à fait l'hypothèse de Jakarian Easah, (2015) toute fois il y a quand même des lacunes sans la présence des bouses de vache car La redynamisation ou la réhydratation, se fait à partir de la bouse de vache mélangée à de l'eau (Ranaivoson, 2018) et de plus Misra et al., (2005) ont démontré aussi que le fumier rend les vers très actifs.

Selon une étude de Randriamanantsoa (2014) dans un atelier il a essayé de comparer deux essais de lombricompostage et de lombriculture dans lequel le premier dispositif contient de la consoude, la paille, le carton et la bouse de vache et que Les vers ne sont pas choisis en fonction de leur taille mais en fonction de leur espèce. Puis, ils ont été mis dans un bac en bois, enroulé dans un sachet plastique noir et couvert de foin ; et le deuxième dispositif contient seulement de la bouse de vache et les vers ont été choisis en fonction de leur taille et de leur poids. De plus, ils ont été mis dans un bidon plastique jaune recouvert de foin également. La nourriture du premier dispositif ont été pré-composté durant 15 jours et que les vers mangeaient le carton en premier lieu et c'est 7 jours après, qu'ils ont consommé la consoude, la paille sans être dans la litière de deux semaines, la nourriture s'est tassée et son volume diminuée et qu'au bout de 10 jours leurs tailles changent et deviennent gros (étape 0, sans essai : 5cm de diamètre et étape 1, avec essai : 8 cm diamètre) sur le deuxième dispositif, l'essai se déroulé dans une litière qui est en même temps la bouse qui après déjection laissée un peu au froid pendant 5 à 10 minutes, puis la mettre dans le bidon jaune mais en consomme moins qu'après 10 jours, ils commencent à grandir petit à petit (étape 0, sans essai : 5cm diamètre et étape 1, avec essai: 6 cm diamètre). De plus la reproduction était rapide et qu'au bout d'une semaine, il y avait déjà des cocons de grande taille (5 cm de diamètre), les vers étaient actifs et le lombricompost est meilleur, il y avait 6 accouplements par jours et la température est de 13° C à 20°C sur le premier dispositif. En revanche dans le cas du deuxième dispositif au bout d'une semaine, les vers ne pondaient pas ; les vers mettaient plus de temps à s'adapter à la nourriture, la production était un peu lente, de plus les vers étaient paresseux se regroupaient entre eux dont la température était de 10°C à 16° C cela prouve que les bouses de vache sont indissociable aux autres ingrédients de plus les pailles et le carton sont des matières carbonées permettant le mélange avec la bouse de vache [El-Haddad, 2014], mais en général la bouse de vache doit toujours être présent car ils favorisent le développement des vers. De plus le pré compostage des aliments est nécessaire car cela permet d'éliminer la forte chaleur tandis que la couverture d'un film plastic aide à lutter contre le froid hivernal (Munroe, 2008) et FLAEF en rajoute l'excrément de bétail doit être pré composté pendant un durée d'un mois minimum avec le nombre d'arrosage qui est égale à 1 ou 2 fois avec obtention d'une consistance de beurre noir.

II.2. Température :

Concernant le substrat en générale les vers attendent que la nourriture pourrisse avant de la manger car ils n'ont pas de dents pour broyer. Ils n'apprécient pas la nourriture solide (Andrianjato, 2019) et Ouahrani et Rached-Mosbah (2001) ont affirmé que la décomposition

des substrats contribue effectivement à l'adaptation d'*Eisenia foetida*. De plus le substrat fournit la température et l'humidité, dans les cadres d'étude D'ANDRIANJATO (2019) : Les vers de terre ne supportent pas une température au-dessus de 26°C mais encore la température influence l'activité des vers cela peut confirmer la recommandation de Munröe (2008) dont la température entre 15 et 25 °C, idéale pour une meilleure croissance et une reproduction élevée des vers de terre. Lors des basses températures, l'espèce entre dans une phase d'estivation c'est-à-dire les vers peuvent entrer en période d'inactivité ou de dormance lorsque les conditions météorologiques sont défavorables, dans cet état, le ver s'enroule sur lui-même pour former un nœud et vire au couleur rose ⁴ entre le mois de Juin et Août mais cela peut être remédié par la stimulation d'un végétale nommée appelée *Sesbania sesban* qui sera utilisée comme substrat supplémentaire pour stimuler la croissance des vers de terre. Cette espèce est particulièrement utilisée comme solution face à la basse température qui se présente lors de la saison d'hiver dans la commune ciblée qui peut mettre le ver de terre en état non confortable et induit à un mauvais résultat (Rakotovao, 2015). La nécessité de l'arrosage est essentielle car il est évident que l'arrosage des substrats fait descendre la température au-dessous de 25 °C, mais ça ne dure que quelques jours. En revanche, celle-ci remonte progressivement jusqu'au moment du contrôle c'est-à-dire après une semaine de l'arrosage. Les vers de terre ne peuvent donc bénéficier de meilleures conditions de température que pour une courte durée. Ils profitent au maximum possible ce moment pour s'accroître et pondre ses cocons. Leurs activités se ralentissent dès que la température s'élève à nouveau quelques jours avant le prochain arrosage mais encore Munröe (2008) a mentionné que l'arrosage contrôlé aide aussi à la régulation de l'humidité du milieu d'où les vers ont besoin d'eau pour s'hydrater non pour s'immerger mais Georg (2004) stipulé aussi que Les vers épigés tolèrent cependant une large variation de température entre 10 et 30 °C en dehors desquels, leurs activités biologiques s'arrêtent.

4 [http : //www.naturewatch.ca](http://www.naturewatch.ca)

II.3. Humidité :

Puis ensuite l'humidité tient un rôle primordial dans la croissance et la reproduction des vers en élevage (Georg, 2004) et encore L'arrosage contrôlé aide aussi à la régulation de l'humidité du milieu (Munrøe, 2008) mais le problème d'humidité peut être pallier selon Francis et al, 2003 il faut mettre en place de système de distribution d'eau pour arroser les lits d'élevage afin que les vers se développent convenablement et continuellement, cela peut confirmer les propos de Munrøe (2008) que l'humidité idéale pour la croissance et la reproduction des vers en élevage est de 70 à 90%.

II.4. pH :

Sur le pH, dans le paragraphe chapitre III, I.1.2, Le pH approprié à l'élevage des vers est de 7,5 à 8,0 (Georg, 2004). Par conséquent, Les vers peuvent tolérer un minimum de 5,0 et un maximum de 9,0 au-delà desquels, leur activité devient plus lente voire s'arrête (Edwards, 1998). Alors du coup Munrøe (2008) conseillé que l'ajout raisonné de coquillage permet de le remédier au cas où la situation s'empire.

III. Les maladies :

Dans les études de Rasoloharisoa (2016) : la maladie des vers est généralement causée par des intoxications alimentaires ou par un taux trop élevé de protéines dans le substrat (Gaddie, 2002 in Munrøe, 2008). Cette maladie est appelée "**sour crop**". Le sour crop s'identifie par le renflement du clitellum. Elle provoque des mortalités massives des vers et peut mettre en péril toute une exploitation (Morin, 1999). Les aliments mis à disposition des vers de terre peuvent contenir de substances potentiellement toxiques (Gaddie, 2002 in Munrøe, 2008).

Les éléments antinutritionnels les plus dangereux sont les vermifuges dans les fumiers, les graisses et les détergents dans les ordures ménagers, les pesticides dans les résidus de cultures, les résines de certains arbres et, l'ammoniac dégagé par les autres micro-organismes qui cohabitent avec les vers. Le triage à la source des déchets permet néanmoins de réduire les risques (Munrøe, 2008).

La mouche soldat noire ne mord pas, ne pique pas et n'est pas un vecteur de maladies. Elle est d'un naturel discret et n'est pas envahissante, ce n'est donc pas un insecte nuisible ⁵et d'après Joosten et al. (2020), aucun problème de maladies n'a été recensé à ce jour dans les élevages d'*H. illucens*.

⁵ <http://www.up-to-up.veolia.com>

IV. Ennemis des 2 élevages :

IV.1. Lombriculture :

Les prédateurs des vers peuvent nuire à leur croissance et à leur développement, on peut citer ci-dessous :

- **Les oiseaux (vorona) :** presque principalement tous les oiseaux sont des insectivores qui sont des animaux ingérant des insectes et des vermivores qui consomment des vers.
- **Les milles pattes (trambo) :** qui sont des animaux aux corps allongés appartenant au sous-embanchement des arthropodes. Elles sont à la fois des vermivores et des oophagies (consommant les cocons). Ces animaux sont parfois présents dans le substrat à cause des conditions d'humidité parce que ce sont des espèces hygrophiles (qui aime l'humidité).
- **Fourmis (vitsika) :** ce sont des concurrents nutritifs sur les vers lorsqu'il y a la présence des aliments sucrées ou douces. Ce sont des espèces animales saccharophiles (passionné par le sucre)..

Source : FLAEF,2021

IV.2. Les Black Soldier Fly :

Les fourmis peuvent nuire au développement de l'élevage des larves dû aux compositions du substrat, les larves et peut être la présence des aliments douces. Les moyens de lutte est le tri des aliments et la mise en place du larvarium ou le bac d'engraissement.

Source : CEFFEL, 2023

CHAPITRE III : RECOMMANDATION

I. Lombriculture :

Pour bien mener la lombriculture dans son évolution, il faut tout d'abord respecter les ingrédients nécessaires qui assureront le développement des vers à commencer tout d'abord par les collectes et les tri des nourritures des vers et séparer les aliments indésirables et utiles à leur apogée. Il faut aussi respecter le délai de maturation compostages du fumier durant 1 mois minimum qui est l'élément clé de l'activité de lombriculture et aussi pour éviter les éléments toxiques et bien s'assurer de son entretien au cours de ce période. En effet la première étape concernant la préparation du substrat dans le vers est l'étape de base qui désigne la continuité de l'activité de la lombriculture d'où il faut bien s'assurer de la confection du substrat afin de permettre d'éviter les maladies.

D'autant plus que le substrat est le facteur conditionnant le développement de ses organismes regroupant la température, le pH, l'humidité mais en dépit de cela l'arrosage régulier du substrat permet de stabiliser ses facteurs, mais encore la redynamisation et la réhydratation par mélange d'eau et bouse de vache stimule l'activité des vers.

Concernant la gestion des prédateurs des vers :

- Les oiseaux : le moyen de prévention est la mise en couverture des matériaux.
- Les milles pattes : la prévention contre ses petits invertébrés est par la gestion de l'aération du substrat.
- Les fourmis : la solution est d'éviter les aliments doux également appelé aliments sucrés et faire un tri.

II. Black Soldier Fly :

II.1. Larves :

Pour assurer la viabilité des larves, la préparation du substrat est également la clé principale de leur développement est de respecter et maîtriser les facteurs influençant leurs développements à l'âge adultes. Notamment, la maîtrise de l'humidité est cruciale, si le substrat est trop compact, les larves n'arriveront plus à se mouvoir et ne se nourrit plus et d'un autre côté, s'il est trop humide, les larves s'immergent du coup il est à recommander de bien stabiliser le mélange entre matière sèche et matière humide. Mais encore le développement des larves dépend aussi de la température donc bien choisir l'endroit adéquat qui présente la température idéale à leur développement. Et concernant

son prédateur c'est-à-dire les fourmis : il faut éviter les aliments doux également et de trouver une place adéquate pour l'installation du larvarium.

II.2. Nymphes et prénymphe :

L'installation des nymphes et prénymphe doit être loin de la lumière et de l'humidité.

II.3. Adultes et œufs :

Pour les adultes, il faut s'assurer de la présence de la luminosité et de la température optimale pour qu'ils puissent assurer leur reproduction. Et à priori, la récolte des œufs doivent être surveiller régulièrement.

Le substrat de ponte doit être bien préparé et a pour effet d'attraction olfactif convenable composé de matière en décomposition car les adultes sont attirées par ces matières et réalisent leurs accouplements sur cet environnement et pondent leurs œufs entre des bois superposées entre eux, ou une pile de carton dans lequel la disposition de ses pondoirs sont bien placées.

CONCLUSION

En guise de conclusion, ce stage nous a permis de plonger dans les activités d'un univers professionnel qui divergent de l'environnement scolaire et d'avoir pu rencontrer et créer un contact amical avec diverses personnes, de plus des échanges ont été réalisés. Grâce à cela, des connaissances sont acquises, des expériences sont améliorées aussi bien théorique ou pratique sur la production de BSF et la lombriculture associée souvent au lombricompostage. Par ailleurs, ça donne de l'ambition, de la satisfaction et de l'évolution intellectuelle et sociale.

En effet, l'étude comparative entre l'élevage de BSF et lombriculture permet de comprendre la réalisation de l'activité. Malgré toute les tâches accomplis, ce sont des occupations intéressante et bénéfique pour les acteurs agricoles. Cependant, la base de ces deux élevages dépend du gestion et conduite d'élevage mais toutefois comme on a vu des similarités sur le substrat des deux élevages ont été vu mais ils diffèrent dans leurs stades de développement, dans laquelle les larves de BSF sont conditionnés par le substrat et les adultes sont conditionnés par le territoire environnant et dans le cas de la lombriculture, tout au long de sa vie le substrat conditionne tout son développement.

Selon les résultats comparatifs caractéristiques l'élevage de BSF ne demande pas un niveau de difficulté d'élevage de haut niveau et qu'elle est résistante aux conditions défavorables par rapport à la lombriculture qui est sensible lorsque l'un des paramètres n'est pas exigé. Par ailleurs le substrat est varié pour l'élevage de BSF tandis que la lombriculture nécessite des substrats spécifiques car cela conditionne toute sa vie et c'est à la fois son habitat et son alimentation, le BSF possède un cycle de vie très court mais des descendants à production rapide dans lesquels les femelles peuvent pondre plus de 500 œufs, et dans les cas des vers, un cocon peut contenir 2 à 20 vermisseaux mais seuls 4 d'entre eux continuerons la reproduction mais aussi productifs au fil du temps. Et de plus le coût des deux élevages sont différenciés de plus ou moins 70.000 Ar et les besoins matériaux de la lombriculture est bien supérieur et exigeant que l'élevage de BSF.

Selon les techniques de développement appliquées vu au sein de chaque espèce, les ressources demandés par la lombriculture demande plusieurs étapes à commencer par la préparation du substrat qui est un facteur important et clé de la continuité des autres étapes car seul l'environnement du substrat conditionne son environnement et sa viabilité, d'autant plus les ressources de viabilité incluant la température, l'humidité et autres paramètres influent son développement, toutefois il est également vu dans l'élevage de BSF que le substrat conditionne

la viabilité des larves mais lorsque il atteint l'âge adulte seul le milieu environnant assure leur reproduction et que les ressources appliqués sur l'élevage ne demande pas des étapes plus ou moins exigeants sur le développement des larves jusqu'à l'âge adulte à condition que le milieu est commode pour son évolution.

Répondant à la problématique « est-ce que l'élevage de BSF est-il flexible que la lombriculture ? » Cette étude représente des réponses évidentes à la question et nous permet de confirmer les deux hypothèses : Les techniques appliquées sur l'élevage de BSF ne demandent pas beaucoup de ressource face à la lombriculture et l'élevage de Black Soldier Fly ne requiert des dépenses importantes par rapport à la lombriculture. Ces deux élevages peuvent être des perspectives pour les acteurs agricoles et offre davantage propice et un large choix alternatif pour évincer le gaspillage et le chômage et les deux activités sont rentables si les conditions sont suivies à la lettre.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. ALLIVENJA F., 2022. Elaboration de business plan : cas de l'élevage de mouches soldats noires (*Hermetia illucens*) au sein de l'unité de recherche sur les insectes comestibles, à l'Université d'Antananarivo (Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur Agronome au grade de Master II). 61 pages.
2. ANDRIANARIMANANA H.T, 2014. Caractérisation et amélioration de la qualité microbiologique et chimique du lombricompost pour favoriser le développement du haricot, *Phaseolus vulgaris* (Mémoire pour l'obtention du diplôme d'étude approfondies en science de la vie).72 pages.
3. ANDRIANISAINA F., 2017. Production de lombricompost par des espèces locales de vers de terre et effets de ces fertilisants sur la croissance du riz pluvial (Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention de l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome en grade Master II). 80 pages.
4. ANDRIANJATO H.M, 2019. Production de thé de vers à partir des déchets ménagers – caractérisation physico-chimique et essai avec des déchets textiles en coton (Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master II en chimie). 76 pages.
5. Fiche technique ,2023. Instructions pour l'élevage et l'engraissement de la mouche soldat noire Production de protéines alimentaires à partir de résidus d'origine végétale. 24 pages.
6. Frédérique A-B, 2016. BESOINS DE LA PLANTE ET GESTION DU SOL.64 pages.
7. GLENN Munroe, Guide de lombricompostage et de lombriculture à la ferme. Centre d'agriculture biologique du Canada. 37 pages.
8. GOUGBEDJI M., 2022. Valorisation de coproduits agricoles pour l'élevage de la mouche-soldat noire, *Hermetia illucens* (L. 1758) visant l'alimentation du tilapia du Nil *Oreochromis niloticus* (L. 1758) au Bénin (Dissertation originale présentée en vue de l'obtention du grade de docteur en sciences agronomiques et ingénierie biologique). 197 pages
9. HERINIAINA L., 2011. Lombricompost et développement durable : Cas de la commune rurale d'Ambohimambola (Mémoire de licence professionnalisante en travail social et développement). 148 pages.
10. Jean-Claude M.L, 2015. Ecologie appliquée de *Rhynchophorus phoenicis Fabricius* (Dryophthoridae : Coleoptera) : phénologie et optimisation des conditions d'élevage à

- Kisangani, R.D.Congo.(Thèse présentée en vue de l'obtention du grade de docteur en sciences agronomiques et ingénierie biologique). 216 pages.
11. Journal de l'agroécologie 2022_JAE_14. Lombricompost AGRICULTURE, RESTAURATION DE LA DEGRADATION DU SOL, CAPITAL NATUREL.12 pages.
 12. Journal of Insects as Food and Feed, 2017. An open system for farming black soldier fly larvae as a source of proteins for smallscale poultry and fish production. 6pages.
 13. Mahamoudou K., 2020. Étude de la composition des matières organiques végétales résiduelles sur les performances de croissance, les bilans de bioconversion et la qualité nutritionnelle des larves de mouches soldats noires (Maîtrise avec mémoire en sciences animales). 101 pages.
 14. MAMMAR A. et MAKBOUL A, 2022. Essai d'incorporation des larves soldat mouche noire dans l'alimentation des volailles (Pour l'obtention du diplôme de MASTER EN SCIENCES ALIMENTAIRES). 74 pages.
 15. Manuel de lombriculture pour le lombricompostage FLAEF (Ferme Lombricole AgroEcosystèmes Farihitsana). 31 pages.
 16. PELOSI. C, 2008., Modélisation de la dynamique d'une population de vers de terre lumbricus terrestris au champ contribution à l'étude de l'impact de systèmes de culture sur les N°de commande 1619, ÉditionSuisse, 2013 communautés lombriciennes. Th. Doc., Ecole doctoral. ABIES. Paris.141 pages.
 17. Ghomali Souhila, Technique d'enquête, Université de Tlemacen, Faculté des Sciences Economiques, des Sciences de Gestion et des sciences Commerciales. 100 pages.
 18. RAKOTOVAO M.O, 2015. Projet de l'usage de lombricompost, enjeux de développement agricoles cas de la commune rurale de Faratsiho (Mémoire en vue de l'obtention du DESS). 91 pages.
 19. RANDRIAMANANSTOA N., 2014. Contribution aux essais d'amélioration de lombricompostage à Antananarivo cas de l'ONG FERRONERE district de Mandroseza (Mémoire de Master). 82 pages.
 20. RASOLOHARISOA J.P, 2016. Essai d'élevage du vers de terre *Eisenia foetida* (Savigny, 1826) et perspectives de son utilisation dans l'alimentation des poissons d'élevage (Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention de diplôme d'ingénieur agronome). 84 pages.

21. SOLOFONIAINA R., 2012. Avantages de l'utilisation du lombricompost dans l'exploitation agricole cas de la commune rurale d'Ambohimambola (Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome). 160 pages.
22. Tanga C. M, Fiaboe K. K. M, Niassy S, van Loon J. J. A, Ekesiand S, Dicke M, 2017. A field guide to commercially produce low-cost, high-quality novel protein source to supplement feeds for poultry, pig and fish industries and the valorization of organic byproducts. A handbook for extension staff and trainers. ICIPE, Nairobi, Kenya. 31 pages.
23. Tomberlin J.K, Peter H.A, Heidi M.M, 2009. Development of the Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) in Relation to Temperature: Table 1. Environ Entomol Environmental Entomology 38.3: 930-34.

REFERENCES WEBOGRAPHIES

1. <http://biblio.univ-antananarivo.mg> , consulté le 17 juillet et le 30 septembre 2023
2. <http://books.openedition.org>, consulté le 1^{er} septembre 2023
3. <http://www.fermedumoutta.fr>, consulté le 15 août 2023
4. <http://www.yara.fr>, consulté le 16 septembre 2023
5. <http://accés.ens-lyon.fr>, consulté le 2 octobre 2023
6. <http://wikipedia.org>, consulté le 15 octobre 2023
7. <http://wiki.tripleperformance.fr>, consulté le 17 septembre 2023
8. <http://fr.scienceaq.com>, consulté le 19 octobre 2023
9. <http://www.fao.org>, consulté le 06 septembre 2023
10. <http://plus2vers.com>, consulté le 11 octobre 2023
11. <http://www.anses.fr> , consulté le 1^{er} novembre 2023
12. <http://www.la-viande.fr> , consulté le 1^{er} novembre 2023
13. <http://lexpress.mg>, consulté le 2 novembre 2023
14. <http://www.pileje.fr>, consulté le 2 novembre 2023
15. <http://www.nocomment.mg>, consulté le 5 novembre 2023
16. <http://www.naturewatch.ca>, consulté le 6 novembre 2023
17. <http://www.up-to-us.veolia.com>, consulté le 5 novembre 2023
18. <http://www.microworms.com>, consulté le 12 novembre 2023
19. <http://fr.freepik.com>, consulté le 12 novembre 2023

ANNEXE

Annexe 1 : Les avantages de l'utilisation de lombricompost

Les avantages du lombricompost sont :

- ❖ C'est un fertilisant naturel qui est utilisé dans l'agriculture biologique et qui s'adapte dans différents types de sol et différentes cultures.
- ❖ Le lombricompost contient des substances minérales qui sont libérées lentement et donnant à la plante une source d'alimentation minérale constant pendant toute sa période de croissance.
- ❖ Il permet d'augmenter les capacités d'autodéfense de la plante et de sa résistance à la sécheresse, et de réduire le choc de la transplantation et améliore le goût des fruits et des plantes agricoles.
- ❖ Il améliore la porosité et l'aération du sol.
- ❖ Il possède une charge bactérienne exceptionnellement élevée, stimulant et accélérant l'humification des résidus organiques et régénère l'activité du sol.
- ❖ Il est inodore et ne présente pas de produit phytosanitaire.
- ❖ Il n'est pas nocif sur la santé de l'homme car au contraire il peut servir de traitement médicamenteux.
- ❖ L'utilisation répétée de lombricompost redonne au terrain une activité micro biologique ergonomiquement très utile.
- ❖ Le lombricompost présente des niveaux de contamination en microorganismes pathogènes bien plus faibles que le compost conventionnel (Ndegwa, Thompson, 2001).

Annexe 2 : Les différents types de vers

Selon les espèces et les catégories, les vers de terre n'ont pas les mêmes conditions de vie, ce qui nous amène à regrouper les vers qui se divisent comme suit : les épigés, les endogés et les anéciques (BOUCHE, 1984).

❖ Les épigés :

Les vers épigés habitent la surface du sol et se nourrissent des matières organiques de surface (BOUCHE, 1984). Leur corps mesure 5 à 10 cm. Les vers épigés présentent une fertilité élevée. Un adulte arrive à produire quelques 40 à plus de 100 cocons par an. Ils sont très pigmentés. Ils ont une homochromie qui leur permet de s'esquiver des prédateurs (BOUCHE,

1984). Les vers épigés sont appelés "vers digesteurs" parmi lesquels figurent les vers de fumier ou vers du compost *Eisenia foetida* (FRASER, 1999). Ils forent très peu le sol et n'ont pas de galeries permanentes. Ils sont utilisés dans le lombricompostage. Les épigés sont classés dans la catégorie des vers digesteurs, ils se nourrissent uniquement des matières organiques de surface incluant les végétaux en décomposition, les divers fumiers etc. (Asha et al., 2008).

❖ **Les endogés :**

(« A l'intérieur de la terre ») Également des vers fousseurs, mais leurs galeries sont généralement peu profondes ; Ils habitent en permanence dans les premiers 20 à 30cm du sol (Fraser, 1999). Ils se nourrissent de la terre riche en éléments nutritifs. Ils creusent des galeries horizontales pour se déplacer dans le sol (BOUCHE, 1984). Leur corps mesure 10 à 20 cm. Les vers endogés ont une fécondité moyenne. Un adulte pond 8 à 27 cocons par an. Ils sont peu pigmentés. Leur refuge leur met à l'abri des prédateurs. Ils sont pratiquement appelés "vers laboureurs" dont l'exemple typique est l'espèce *Aporrectodea caliginosa* (FRASER, 1999).

❖ **Les Anéciques :**

(« Qui sort de terre ») –Ces vers fousseurs font surface la nuit afin de traîner de la nourriture dans leurs galeries creusées dans les couches minérales profondes du sol. Ils habitent la couche profonde du sol (1 à 2,5 m). Ils se nourrissent des matières organiques qu'ils cherchent en surface. Ils y viennent aussi déposer leurs déjections (FRASER, 1999). Leurs déplacements laissent des galeries verticales (Bouché, 1984). Ils mesurent 15 à 45 cm et quelques fois plus d'1 m. Un adulte ne produit qu'un cocon par an. Leur pigmentation est très sombre et ils sont très rarement attaqués par les prédateurs. Le ver commun *Lumbricus terrestris* est un exemple de cette catégorie (FRASER, 1999).

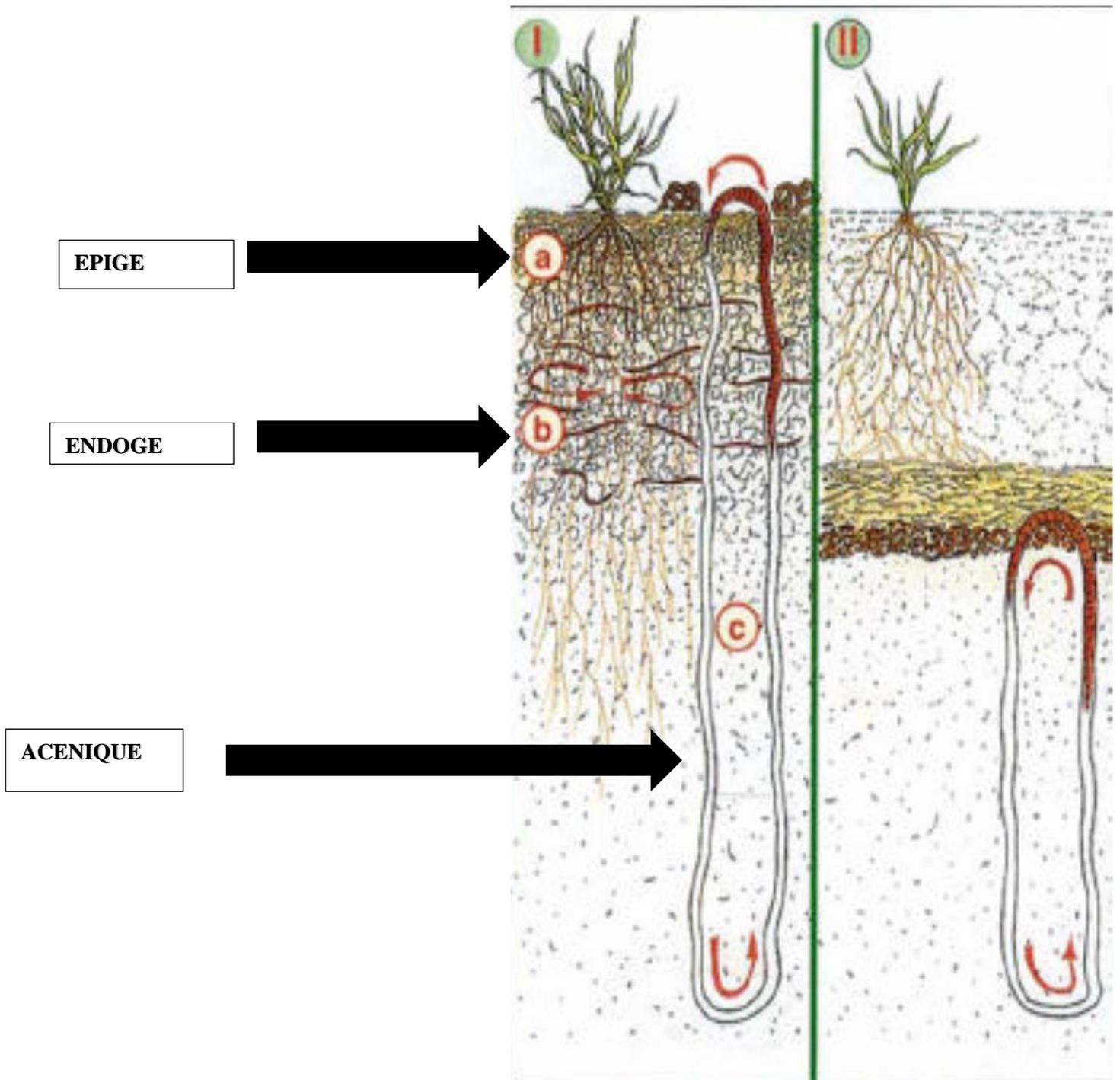


Figure 14: Différents types de vers

Annexe 3 : Les différents types de déchets

Les déchets peuvent se classés selon leur origine [PESQUEUX, 2016]. Ils peuvent se subdiviser comme suit :

- Déchets ultimes : Ce sont des parties des déchets utilisables qui sont collectés ou triés séparément. Par exemple des véhicules hors d'usage ou encore des vêtements qui sont encore susceptibles d'être traités.
- Déchets inertes : Ce sont des déchets non - dégradables car ils ne se convertissent pas physiquement ou chimiquement même au contact de la chaleur ou par d'autre méthode par exemple : le béton, verre...
- Déchets assimilés : Ils proviennent des déchets ménagers appelés aussi ordures ménagères.
- Déchets verts : Ce sont les biodéchets ou déchets fermentescibles qui proviennent des parcs ou des jardins. Ils sont encore valorisables.
- Déchets industriels banals : Ce sont des déchets non dangereux, déchets produits par les industriels et entreprises de commerce et d'artisanat (emballage, loupe de fabrication non polluant, ...).
- Déchets dangereux ou déchets industriels spéciaux : Ce sont des déchets qui présentent un risque pour la santé des gens et pour l'environnement comme les détergents et les aérosols.

Annexe 4 : Les différents types de fertilisants

Il existe trois grands groupes de fertilisants dont les engrais (minéraux ou organiques), les amendements (minéraux ou organiques) et les biofertilisants avec pour chacun des subdivisions selon les caractéristiques.

- **Les engrais minéraux :** Ce sont des fertilisants d'origine minérale produits par l'industrie chimique ou par l'exploitation des gisements naturels de phosphate ou de potasse (FAO, 1992). Ainsi, il existe les engrais minéraux simples contenant un seul élément qui pourra être azoté, phosphaté ou potassique et les engrais minéraux composés contenant aux moins deux éléments (FAO, 1992).



Figure 15 : Engrais minéraux

- **Les engrais organiques :** Les engrais organiques sont des fertilisants d'origine animale ou végétale, ils proviennent des déchets organiques industriels, déchets d'abattoir comme le sang desséché, la poudre de sabot, la poudre de corne mais peuvent être synthétisés comme l'urée (LECLERC, 2012).



Figure 16 : Engrais organiques

- **Les amendements organiques** : ces amendements sont des fertilisants provenant principalement des matières organiques d'origine végétale mais pouvant quelquefois contenir des déchets animaux liquides et/ou solides. Il s'agit d'un terme qui inclut l'ensemble des fertilisants issus d'excréments de bovins et d'autres animaux, d'autres déchets animaux, les déchets ruraux et urbains, les résidus de culture (ALLISON, 1973). Ils sont riches en humus et minéralisé sous l'action de la microflore du sol, ils sont utilisés pour améliorer les propriétés biologiques par renforcement de la résistance des plantes et de l'activité biologique du sol, les propriétés chimiques par l'enrichissement en éléments assimilables pour les plantes et les propriétés physiques par l'aération et la stabilisation du sol.
- **Les biofertilisants** : ce sont des substances qui contiennent des organismes vivants telles les bactéries, les champignons, les algues dont le principal rôle c'est de favoriser le développement des plantes en augmentant la disponibilité des éléments nutritifs contenus dans le sol (VESSEY, 2003).