



OPTIMISATION DE LA PRODUCTION LARVAIRE DE *RHYNCHOPHORUS PHOENICIS* SUR SUBSTRATS AGROFORESTIERS LOCAUX À KIKWIT (RDC), UNE ALTERNATIVE NUTRITIONNELLE DURABLE

¹ MBELO MBUNGU Roy, ¹ KIKALULU BISAMBU Guylain ¹ LUKISA MAYULA Joseph, ¹ MATUHOYA NGANGU Lee Vayle, ¹ ITSANGA MANZANZA Alex, ¹ SANTRY YANDI MOSI Chançard

1. Institut Supérieur d'Etudes Agronomiques de Kimbau, domaine des Techniques agricoles et environnement (RDC).

Abstract: in response to increasing malnutrition in the Democratic Republic of Congo, this study investigates the potential of farming *Rhynchophorus phoenicis* (African palm weevil) as an alternative protein source. Conducted in Kikwit, the experiment assessed the growth performance of larvae on four substrates: sugarcane and palm stipe, palm kernel cake, and banana trunk. Results show that sugarcane and palm stipe promoted optimal larval development in weight, diameter, and length, with no mortality observed. Conversely, banana trunk and palm kernel cake led to higher mortality rates. A strong correlation was found between larval weight and diameter. These findings suggest that certain agroforestry residues could be valorized for sustainable insect farming, thereby supporting local food security initiatives.

Key words: *Rhynchophorus phoenicis*, organic substrates, insect farming, food security, Kikwit

Résumé: dans un contexte de malnutrition croissante en République Démocratique du Congo, cette étude explore la faisabilité de l'élevage de *Rhynchophorus phoenicis* (charançon du palmier) comme source alternative de protéines animales. L'expérimentation, menée à Kikwit, a évalué l'effet de quatre substrats (canne à sucre, stipe de palmier, tourteau palmiste et tronc de bananier) sur la croissance larvaire. Les résultats montrent que la canne à sucre et le stipe de palmier favorisent une croissance optimale des larves, tant en termes de poids, de diamètre que de taille, tout en affichant une mortalité nulle. À l'inverse, les troncs de bananiers et les tourteaux palmistes entraînent une mortalité élevée. Une corrélation forte entre le poids et le diamètre des larves a été mise en évidence. Ces résultats suggèrent que certains substrats agroforestiers peuvent être valorisés pour développer une entomoculture durable, contribuant ainsi à la sécurité alimentaire locale.

Mots clés: *Rhynchophorus phoenicis*, substrats organiques, entomoculture, sécurité alimentaire, Kikwit

Digital Object Identifier (DOI): <https://doi.org/10.5281/zenodo.16903392>

1. INTRODUCTION

Le monde entier est confronté à des diverses crises socioéconomiques, écologiques, et alimentaires. Avec l'avènement de la pandémie du *Corona virus*, ces crises se sont encore accentuées davantage au point que bon nombre des politiques et voire des scientifiques s'interrogent sur les éventuelles possibilités de sortie de cette situation alarmante (Kapumba, 2020).

En Afrique subsaharienne, la situation est d'autant plus préoccupante. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) des milliers d'enfants meurent chaque année de la malnutrition sévère due à la fois à l'insuffisance de l'alimentation et à la faible valeur nutritive des aliments consommés (Milau *et al.* 2020).

La République Démocratique du Congo (RDC) n'est pas épargnée par cette situation de famine. En dépit de toutes les potentialités qu'elle présente, la population vit dans une misère. Les enfants et les personnes âgées représentent les catégories les plus vulnérables et sont directement touchées par la faim et l'insuffisance alimentaire. Dans la Province du Kasai 260.000 enfants souffrent de la malnutrition aigüe sévère soit 70% de la population (Monzenga, 2015).

Le secteur de l'élevage pouvant suppléer substantiellement aux besoins en protéines d'origine animale est soumis aux différentes contraintes d'ordre sécuritaire, économique et sanitaire. La recrudescence de nombreuses maladies et pestes anéantit significativement la production tant qualitative que quantitative de la viande (Milau *et al.* 2020).

Au regard de la démographie de plus en plus galopante que connaît la RDC, il serait opportun de recourir à des alternatives moins onéreuses mais efficaces. La recherche des nouvelles sources des protéines animales ou une amélioration de la disponibilité de celles déjà connues est souhaitée.

Ainsi, l'élevage des insectes serait une alternative intéressante afin de palier tant soit peu à cette situation. Car Les insectes représentent une part importante de la biodiversité des écosystèmes terrestres. Avec plus d'un million d'espèces décrites, la diversité des insectes dépasse celle des autres animaux et des plantes (Monzenga, 2015). En outre, les insectes peuplent des écosystèmes tant forestiers que savaniques et se reproduisent rapidement. Ils ont des taux de croissance et de conversion d'aliment élevé et peuvent s'élever sur des petites espaces avec un faible impact sur l'environnement (Van Huis, 2013).

Par ailleurs, les *Rhycomphorus phoenicis* sont connus pour leur valeur protéique élevée comparativement aux ignames, taros, bananes, maniocs qui sont pauvres en protéine, riches en hydrate de carbones et souffrant d'un déséquilibre calorico-azoté (Garine, 2000).

La qualité nutritionnelle de ces insectes et la possibilité de les reproduire à bas prix pourrait être une des solutions aux problèmes des carences protéiniques (Hardouin, 2003). En effet, les larves de *R. phoenicis* constituent une source bien connue et appréciée en RDC

(Dounias, 1993, Malaise, 1997). Ainsi leur production présenterait un intérêt particulier pour la population mal nourrie, appelée à combler son déficit protéique.

Ainsi, cette étude cherche à mettre au point l'élevage de *R. phoenicis* à partir des divers substrats tels que la canne à sucre, les tourteaux palmistes, les troncs des bananiers et les stipes du palmier à Kikwit, afin valoriser l'entomophagie et contribuer à la disponibilité de cette ressource alimentaire. Elle constitue ainsi un support scientifique intéressant pour les scientifiques et les futurs chercheurs.

L'objectif de cette étude est d'optimiser la production des larves de *R. phoenicis* sur différents substrats organiques.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Zone d'étude

L'expérimentation a été menée dans la ville de Kikwit. Son climat est du type AW₃ selon la classification de Koppen. C'est un climat de type tropical chaud et humide. La saison pluvieuse dure 8 mois, la saison sèche ne dure que 4 mois. La moyenne de la température se situe entre 24 et 25°C.

2.2. Matériels

- **Matériels biologique**

Les spécimens de coléoptères *Rhynchophorus phoenicis* vivants ont constitué le principal matériel biologique. Ces insectes ont été récoltés sur le terrain (milieu naturel: palmier à huile, palmier à raphia) par les tireurs de vin de palme et vin de palmier à raphia.

- **Matériels non biologique**

Outre le matériel biologique, plusieurs autres matériels ont été utilisé pour la réalisation de cette étude notamment: les bocaux en plastique pour conserver les charançons, la balance de précision pour le prélèvement de poids, le pied à coulisse pour le prélèvement de diamètre de larves, et ceux utilisées comme substrats (canne à sucre, tourteau palmiste, tronc de bananier stipe du palmier).

2.3. Méthodes

- **Échantillonnage**

Dans chaque substrat, quatre larves ont été mise en place. Au total, on a disposé de quatre types de substrats notamment: les stipes des palmiers (SP), les cannes à sucre (CA), les tourteaux palmistes (TP) et les troncs des bananiers (TB). Pour chaque type de substrat, quatre réplicats ont été fait.

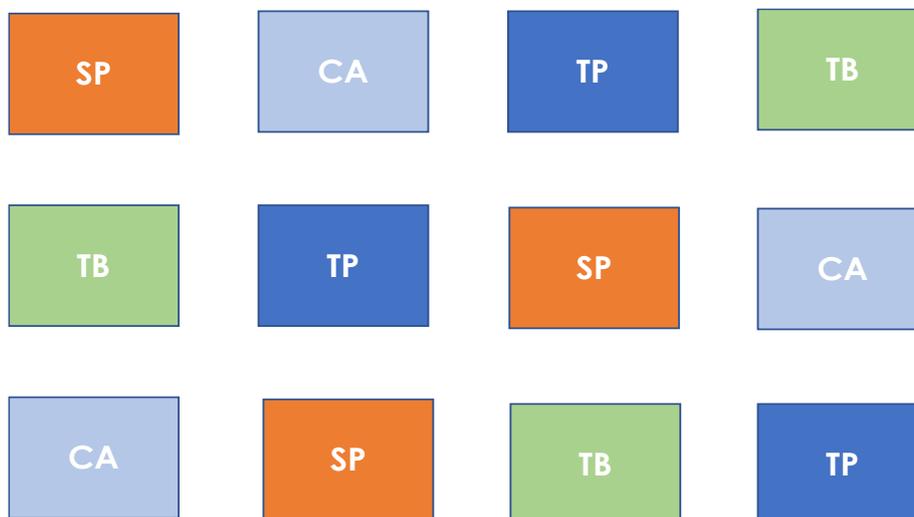


Figure 1 . Dispositif expérimental d'élevage des larves de *Rhynchophorus phoenicis*

- **Stockage des adultes**

Le stockage des individus adultes a consisté à mettre les insectes dans des boites en plastique trouées avec des morceaux de substrat (canne à sucre, fausse canne, stipe de palmier) de 5-10 cm fendus avec un sexe ratio de 1: 1 (un mâle pour une femelle) pour limiter la compétition entre mâles.

Ces morceaux de substrat servent à la fois de nourriture pour les adultes et de milieu de pontes pour les femelles. Le but du stockage est de mettre les insectes adultes dans les meilleures conditions possibles qui favorisent l'accouplement, pour permettre aux femelles de pondre les œufs fécondés. Le renouvellement de morceaux de canne est effectué après 3 jours.

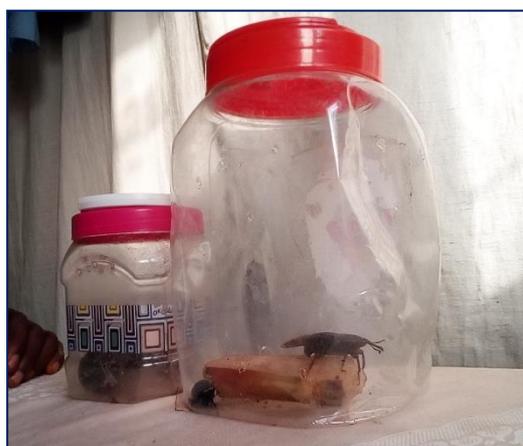


Figure 2. Stockage des insectes adultes

- **Extraction des œufs et des larves**

La canne à sucre a été le substrat de ponte utilisé car elle est particulièrement commode sur le plan expérimental et bien acceptée par les femelles. Une fois pondus, les œufs sont récupérés sur les morceaux de canne à sucre qui sont restés dans les boîtes pendant 3 jours. Pour obtenir des jeunes larves, il faut attendre 3 jours supplémentaires. L'opération consiste à déchirer soigneusement les vieux morceaux de canne à sucre à l'aide d'un couteau et à récolter les individus (œufs et jeunes larves) à l'aide d'un pinceau. Les œufs et jeunes larves récoltées sont stockés dans les boîtes de Pétri et servent à infester différents substrats d'élevage.

- **Infestation des substrats**

Trois types d'infestations ont été réalisés:

- L'infestation par des adultes se fait en choisissant quelques individus (jeunes surtout) avec la sex-ratio de 1:1. Les mettre en contact avec le substrat. Ils sont ensuite déposés au sommet du stipe et couverts avec la moitié d'un bocal en plastique ou une grille pendant au moins 5 jours pour maximiser la ponte des femelles;
- La mise des morceaux des cannes contenant des œufs dans une autre boîte que celle contenant les parents pour attendre l'éclosion des œufs et leur développement jusqu'à la première semaine puis les peser;
- La mise de larves de première semaine dans les substrats définitifs et les peser après tout le septième jour pour connaître leur évolution et leur adaptation dans le substrat.

- **Incubation**

L'incubation consiste à garder les substrats infestés dans un endroit contrôlé, exempter de prédateurs et maladies pour permettre le développement des larves jusqu'au stade voulu par l'éleveur. Les substrats d'élevage doivent être renouvelés après chaque semaine au moins, parce qu'après ce laps de temps pour ces substrats, ils sont consommés quasi totalement. Cela limite aussi le développement de moisissures.

- **Récolte des larves de dernier stade**

Elle a lieu deux semaines après infestation des substrats et trois semaines pour les œufs. Le dernier stade larvaire est facilement observable à partir du poids et de la coloration brun-jaunâtre de larves. Pour le substrat de grande dimension, cela se remarque par la diminution sensible du bruit de mastication produit par les larves (Mignon, 2002).

- **Analyses statistiques**

Une ANOVA à 1 facteur suivie de test post hoc de Fisher (LSD) a été utilisée pour comparer les différentes mensurations: gain de poids, taille, diamètre... De plus une corrélation entre la longueur totale, le diamètre et le poids a été réalisée. Toutes ces analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel Xlstat version 2020. Le niveau de signification a été fixé à 5 %. Le logiciel Origin a servi à la représentation graphique.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Mesures morpho métriques

- Taille des individus de *Rhycomphorus phoenicis* dans les différents substrats d'élevage

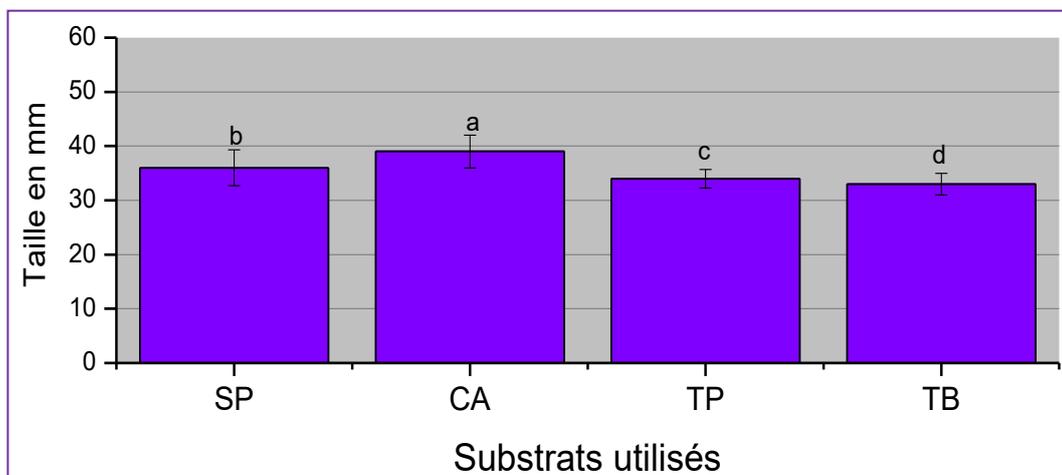


Figure 3. Evolution de la taille des *Rhycomphorus phoenicis* dans les différents substrats d'élevage

Les résultats de cette section montrent des variations notables de la taille des larves de *Rhycomphorus phoenicis* selon les substrats utilisés pour leur élevage. Typiquement, on observe que certaines matières organiques favorisent une croissance plus rapide et plus importante des larves.

L'évolution de la taille au fil du temps, représentée dans la figure 3, révèle que certains substrats permettent d'atteindre des tailles supérieures de manière plus constante. Cela pourrait être lié à la disponibilité de protéines, de lipides ou de fibres dans le substrat, éléments essentiels à la croissance des larves selon Mboumba *et al.* (2016), qui ont souligné que la composition nutritionnelle du substrat influence directement la biomasse produite chez les insectes comestibles. Il est également possible que certains substrats améliorent la rétention de l'humidité, élément essentiel pour le développement des larves, comme l'indiquent les travaux de Oonincx *et al.* (2015), qui ont montré que des conditions microclimatiques favorables peuvent améliorer la croissance larvaire.

- **Diamètre des individus de *Rhycomphorus phoenicis* dans les différents substrats d'élevage**

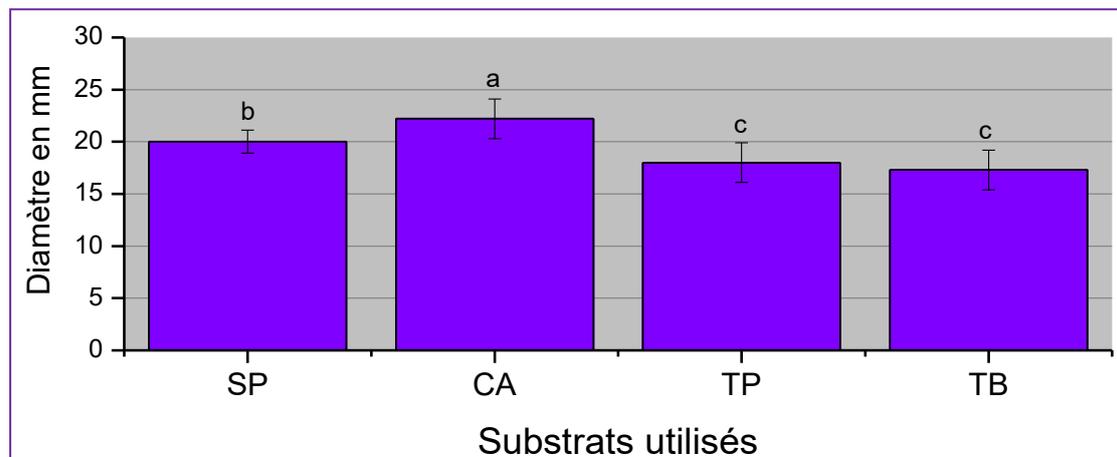


Figure 4. Evolution du diamètre des *Rhycomphorus phoenicis* dans les différents substrats d'élevage

Les données présentées dans la Figure 4 indiquent une variation significative du diamètre moyen des larves en fonction du substrat d'élevage utilisé. Un substrat riche en éléments nutritifs semble favoriser une croissance plus volumineuse des larves, traduite par une augmentation du diamètre. Cela s'explique par le fait que le diamètre corporel est directement influencé par l'accumulation de réserves nutritionnelles, notamment de lipides et de protéines, au cours du développement larvaire.

Cette augmentation est progressive et soutenue dans les substrats qui offrent une bonne biodégradabilité et une composition équilibrée en matières organiques, ce qui est conforme aux travaux de Kouassi *et al.* (2012) sur la croissance larvaire des insectes xylophages nourris sur substrats variés. Les substrats ayant une faible valeur nutritive semblent entraîner une croissance lente ou stagnante, ce qui se traduit par des diamètres plus faibles.

- Poids des individus de *Rhycomphorus phoenicis* dans les différents substrats d'élevage

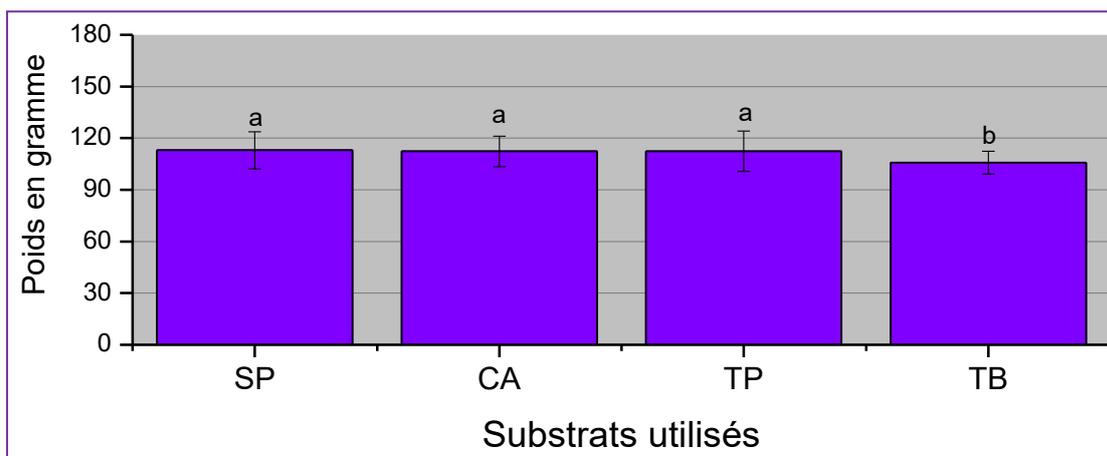


Figure 5. Evolution du poids des *Rhycomphorus phoenicis* dans les différents substrats d'élevage

L'analyse de la figure 5 indique une variation significative du poids moyen des larves de *Rhycomphorus phoenicis* selon les substrats utilisés pour l'élevage. Il est clair que certaines conditions de substrat favorisent une prise de poids plus importante. Cette évolution du poids est fortement corrélée à la densité nutritionnelle du substrat, à la disponibilité constante de matière organique assimilable, et à l'humidité retenue dans le milieu.

En effet, les larves élevées dans un substrat riche en matière azotée, en cellulose facilement dégradable et en humidité optimale montrent une croissance pondérale rapide. À l'inverse, des substrats pauvres ou trop secs peuvent ralentir la prise de poids ou entraîner une stagnation. Cette constatation rejoint celle de Tchuenguem *et al.* (2002), selon laquelle le substrat influence non seulement la croissance en taille, mais surtout le gain de masse corporelle chez les insectes holométaboles.

De plus, le poids constitue un indicateur clé de la conversion des nutriments du substrat en biomasse utile, ce qui est d'un grand intérêt pour les systèmes de production destinés à l'alimentation humaine ou animale.

- **Variation hebdomadaire de la taille, du diamètre et du poids des *Rhycomphorus phoenicis***

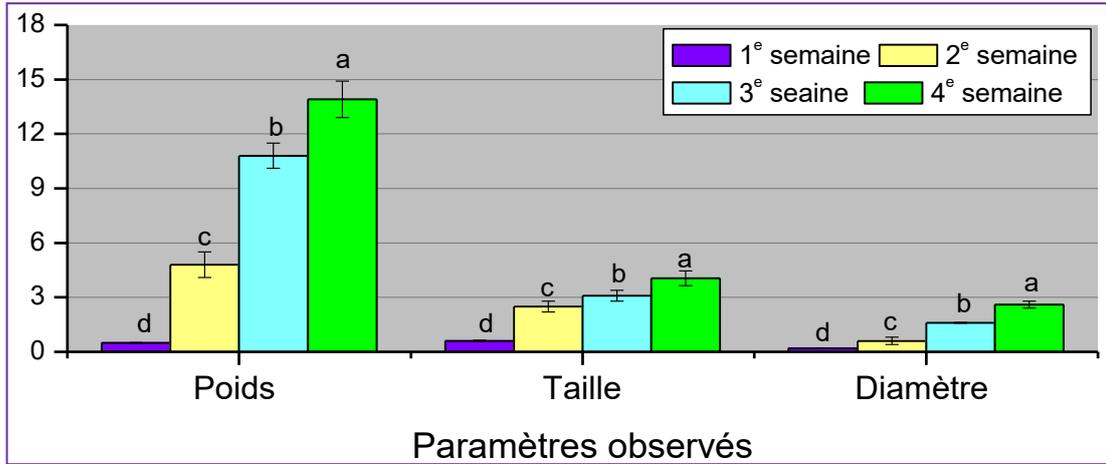


Figure 6. Evolution hebdomadaire de la taille, du diamètre et du poids des *Rhycomphorus phoenicis* dans les différents substrats d'élevage

La figure 6 illustre de manière claire l'évolution hebdomadaire des trois paramètres morphométriques fondamentaux — taille, diamètre et poids — des larves de *Rhycomphorus phoenicis* selon les substrats d'élevage. Globalement, on observe une courbe de croissance ascendante durant les premières semaines d'élevage, avec un ralentissement ou une stagnation à partir d'une certaine semaine selon le substrat. Cette progression indique que les larves connaissent une phase initiale de croissance rapide (phase exponentielle), suivie d'une phase de plateau où la croissance est plus lente voire nulle (phase stationnaire), ce qui est typique du cycle de développement des insectes holométaboles comme le note Chapman (2013).

La nature du substrat influence fortement cette dynamique: un substrat riche et stable favorise une croissance constante sur plusieurs semaines, tandis qu'un substrat appauvri provoque un ralentissement précoce. On note aussi une corrélation temporelle étroite entre le poids et le diamètre, ce qui confirme leur interdépendance dans la croissance biologique. La variabilité interhebdomadaire traduit également la sensibilité des larves aux variations d'humidité, de température et de densité, paramètres souvent interreliés au substrat.

3.2. Evaluation des corrélations

- **Matrice de corrélation**

Tableau 1. Matrice de corrélation de Pearson

Variables	Poids	Taille	Diamètre
Poids	1	0,885	0,968
Taille	0,885	1	0,779
Diamètre	0,968	0,779	1

Le tableau 1 présente les coefficients de corrélation de Pearson entre les trois variables morphométriques mesurées chez *Rhycomphorus phoenicis*: le poids, la taille, et le diamètre. Ces coefficients sont tous positifs et élevés, ce qui indique une corrélation linéaire forte entre les différentes variables. Cela signifie que lorsque la taille ou le diamètre augmente, le poids

augmente aussi, ce qui est cohérent sur le plan biologique: une larve plus grande et plus épaisse est en général plus lourde.

- Coefficient de détermination

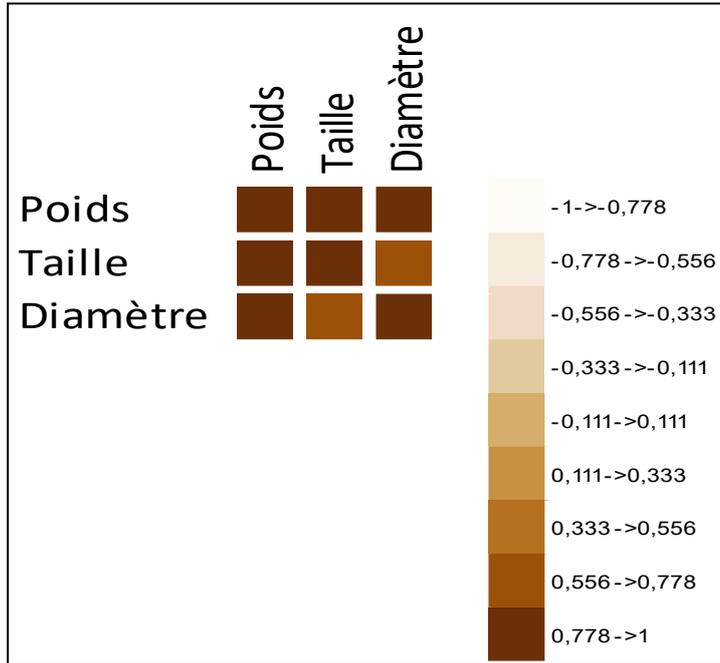


Figure 7. Image de la matrice des coefficients de détermination

Tout comme pour la matrice de corrélation, les coefficients de déterminations confortent l'absence de corrélation significative entre les paramètres observés notamment la taille, le diamètre et le poids. Ceci confirme l'indépendance des paramètres de croissance des *Rhycomphorus phoenicis* dans les différents substrats d'élevage.

3.3. Effets du substrat sur la mortalité des *Rhycomphorus phoenicis*.

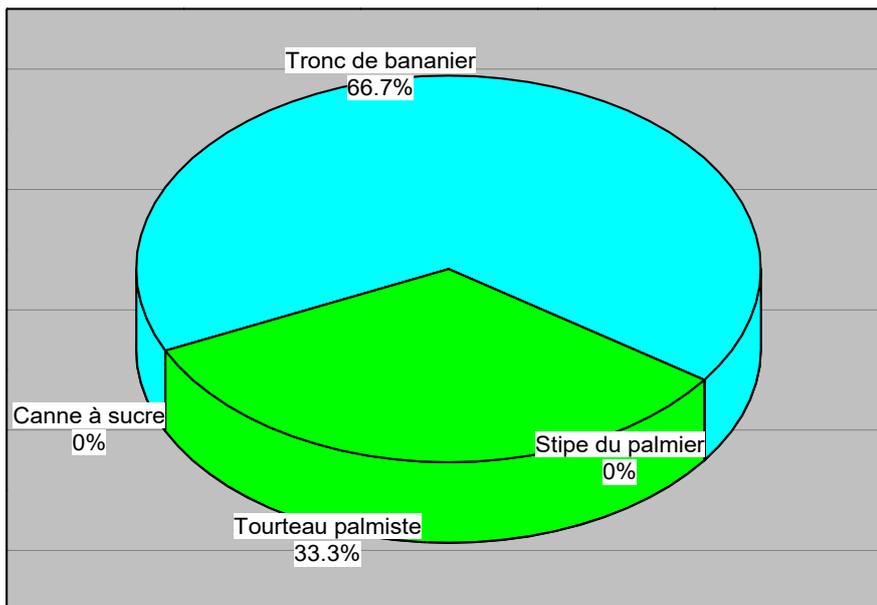


Figure 8. Taux de mortalité des *Rhycomphorus phoenicis* dans les différents substrats.

Les résultats indiquent qu'à partir de la quatrième semaine, les tourteaux palmistes favorisent la mortalité des *Rhycomphorus phoenicis* au seuil de 33,3 % tandis que les troncs de bananiers en favorisent au seuil de 66,7 %, soit le double du seuil de la mortalité observée dans les tourteaux du palmier. En revanche, aucune mortalité n'a été observé chez les individus élevés dans la canne à sucre et le stipe de palmier. La mortalité considérable des larves élevées dans les troncs de bananier et dans les tourteaux palmistes serait peut-être due au fait que ces espèces ne soient pas inféodées à ces substrats spécifiques qui ne leur offrent pas une longévité intéressante. En outre, ces substrats développeraient des charançons et des acariens susceptibles d'exercer la prédation sur les larves des *Rhycomphorus phoenicis*. Plusieurs types d'interactions sont connus. Il peut s'agir de commensalisme, de phorétisme ou plus directement de parasitisme ou de prédation. (Monzenga, 2015). Par ailleurs, Nonaka (2009) a mis en évidence le fait que certains substrats humides comme le tronc de bananier ne conviendraient pas à l'élevage des larves des *Rhycomphorus phoenicis* pendant plus de 21 jours.

- **Effet des substrats sur les qualités organoleptiques des larves *Rhycomphorus phoenicis***

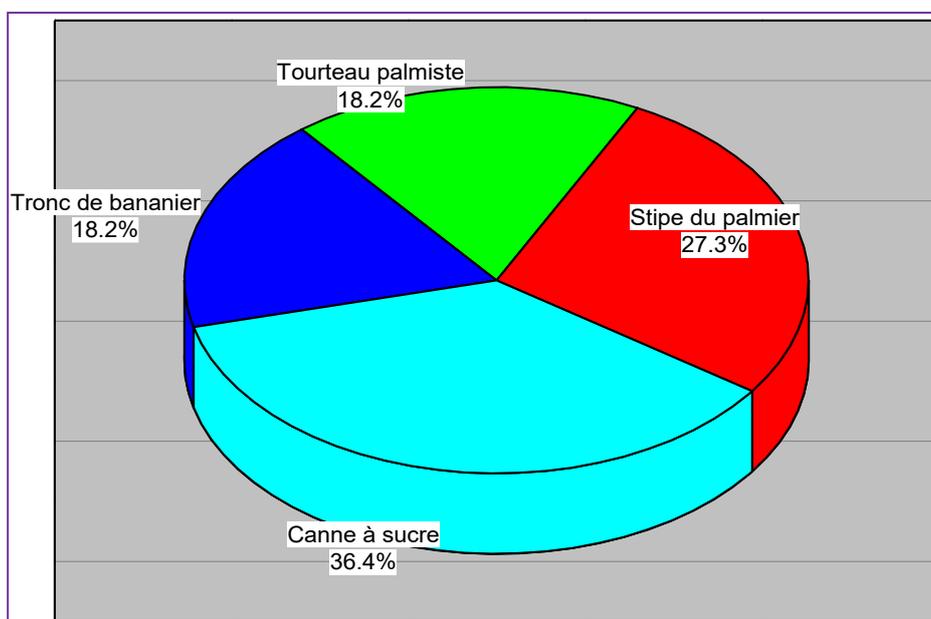


Figure 8. Avis des dégustateurs concernant les qualités organoleptiques des larves élevées dans différents substrats

Concernant le goût des larves des *Rhycomphorus phoenicis*, les avis des dégustateurs divergent. 36,4 % des dégustateurs estiment que les larves des *Rhycomphorus phoenicis* élevées dans la canne à sucre présentent des meilleures qualités organoleptiques, suivies des celles élevées dans les stipes de palmier avec 27,3 % d'avis favorables. Seuls 18,2 % des dégustateurs estiment que les larves des *Rhycomphorus phoenicis* issu des tourteaux palmistes et les troncs des bananiers ont concomitamment un bon goût.

4. DISCUSSION

- **Taille des individus de *Rhycomphorus phoenicis* dans les différents substrats d'élevage**

La croissance en taille des larves selon le substrat est une donnée clé pour optimiser la production d'insectes comestibles. Ces résultats corroborent ceux de Fasoranti et Ajiboye (1993), qui avaient noté que *R. phoenicis* atteint des tailles plus importantes dans des environnements riches en matière organique fraîchement décomposée. Ce phénomène peut s'expliquer par l'abondance de nutriments directement assimilables présents dans ces substrats. Selon FAO (2013), l'utilisation de substrats bien choisis peut doubler la productivité larvaire dans les élevages d'insectes, en particulier pour les espèces saprophages. De plus, les substrats riches en cellulose et lignine modérément décomposées faciliteraient la digestion chez ces insectes xylophages, améliorant leur croissance (Van Huis *et al.*, 2013). Ainsi, ces observations sont fondamentales pour établir des protocoles d'élevage rationnels de *R. phoenicis*, insecte dont la valorisation alimentaire gagne du terrain dans plusieurs pays africains.

- **Diamètre des individus de *Rhycomphorus phoenicis* dans les différents substrats d'élevage**

Le diamètre des larves de *R. phoenicis* représente un paramètre central dans l'évaluation de leur performance biologique, surtout en élevage semi-industriel. Les résultats de cette étude s'accordent avec ceux de Banjo *et al.* (2006), qui ont démontré que le diamètre corporel des insectes saprophages augmentait en fonction directe de la qualité nutritionnelle du substrat, notamment en matière de teneur en matières azotées.

Par ailleurs, selon Oonincx et de Boer (2012), le diamètre corporel peut également refléter le bien-être des larves, dans la mesure où il est influencé par des facteurs comme l'humidité, la température et la densité de population, en plus du substrat. Les substrats qui assurent de bonnes conditions microclimatiques et une dégradation organique lente fournissent des nutriments de manière continue, ce qui favorise une croissance harmonieuse.

Les résultats sont aussi en phase avec les observations de Mutungi *et al.* (2017), qui indiquent que chez les larves destinées à la consommation humaine, un diamètre plus important est souvent associé à une texture plus agréable et à une meilleure acceptation organoleptique, ce qui renforce l'intérêt économique de ces paramètres.

- **Poids des individus de *Rhycomphorus phoenicis* dans les différents substrats d'élevage**

Le poids des larves est une donnée essentielle dans le contexte de l'entomoculture. Une larve lourde est souvent synonyme d'un bon rendement, d'une accumulation efficace des réserves nutritives (protéines et lipides) et d'un état physiologique optimal. Les observations de cette étude confirment les résultats de Bessaoud *et al.* (2018) sur *Tenebrio molitor*, où les substrats riches en sous-produits agricoles permettaient des gains de poids significativement plus élevés que les substrats pauvres.

Par ailleurs, Van Huis (2013) souligne que la qualité du substrat affecte directement le taux de conversion alimentaire (FCR - Feed Conversion Ratio), et donc le rendement en poids. Un substrat bien équilibré permet non seulement une meilleure assimilation mais réduit aussi les pertes métaboliques, favorisant une croissance pondérale rapide et uniforme.

De plus, comme mentionné par Nyakeri *et al.* (2017), le poids est également un bon indicateur de la viabilité commerciale des élevages d'insectes. Dans les régions où l'élevage de larves d'insectes comme *R. phoenicis* devient une alternative durable, l'optimisation du poids par le choix du substrat est une priorité stratégique.

Enfin, la comparaison entre les substrats révèle des performances distinctes, permettant de recommander certains types de substrats (compost organique enrichi, sciure + déchets végétaux humides, etc.) pour les systèmes d'élevage artisanaux ou semi-industriels.

- **Variation hebdomadaire de la taille, du diamètre et du poids des *Rhycomphorus phoenicis***

L'analyse hebdomadaire des données morphométriques permet de mieux comprendre la dynamique de croissance des larves, ce qui est crucial pour planifier les cycles de récolte et maximiser le rendement. Ces résultats renforcent les conclusions de Durst *et al.* (2010) selon lesquelles la durée d'élevage optimale est liée à l'efficacité de conversion du substrat, laquelle atteint son pic durant les premières semaines de développement.

Le suivi hebdomadaire met aussi en évidence les substrats les plus performants à moyen terme. Par exemple, si un substrat entraîne une croissance rapide dès la 2^e semaine mais stagne à la 4^e, cela suggère une dégradation rapide de ses nutriments ou une saturation du milieu, comme observé chez les larves de *Hermetia illucens* (BSF) par Barragán-Fonseca *et al.* (2017).

De plus, cette approche temporelle permet d'ajuster la gestion de l'élevage (fréquence d'ajout de substrat, conditions d'humidité, renouvellement de litière, etc.), comme recommandé par van Huis *et al.* (2013). Elle est donc essentielle pour rationaliser l'entomoculture, surtout en contexte artisanal ou semi-industriel.

Enfin, cette analyse permet d'identifier les périodes critiques du développement larvaire: par exemple, une chute de croissance à la 5^e semaine peut indiquer la nécessité de changer ou de compléter le substrat.

- **Matrice de corrélation**

La corrélation positive entre les trois variables morphométriques traduit une cohérence morpho-biologique classique chez les insectes holométaboles: le développement linéaire (taille), transversal (diamètre) et pondéral (poids) progresse en parallèle dans des conditions favorables. Ces résultats sont en phase avec ceux rapportés par Lass *et al.* (2019) chez *Zophobas morio* où le poids était le meilleur prédicteur de maturité larvaire.

Le coefficient poids ↔ diamètre particulièrement élevé (0,968) montre que le diamètre est une variable déterminante du poids, sans doute en raison de l'accumulation des lipides et protéines dans les tissus sous-cutanés. Ce constat a également été mis en évidence par Ngoula *et al.* (2020) dans leurs travaux sur les larves comestibles africaines.

La corrélation poids ↔ taille de 0,885 suggère que la longueur contribue également fortement au poids, mais de manière légèrement moindre que le diamètre. Cela peut s'expliquer par la forme cylindrique des larves, où le volume corporel (et donc le poids) dépend davantage de la section que de la longueur, comme le démontrent les principes de biométrie présentés par Daly *et al.* (1998).

Ces résultats indiquent qu'en l'absence d'équipement de pesée, des mesures indirectes comme le diamètre ou la taille peuvent constituer des indicateurs fiables de croissance et de performance biologique des larves en élevage.

- **Coefficient de détermination**

L'utilisation du coefficient de détermination dans cette étude est essentielle pour modéliser la croissance larvaire et prévoir les performances selon les variables mesurables sur le terrain. Les résultats obtenus rejoignent les observations de Tanga *et al.* (2021), selon lesquelles le diamètre corporel est un prédicteur plus fiable du rendement pondéral que la taille, en raison de sa relation géométrique directe avec le volume (et donc la masse).

Ces coefficients élevés témoignent d'une forte interdépendance morphométrique, ce qui est typique des espèces dont le développement est bien conditionné par la qualité du substrat. Dans un contexte d'élevage optimisé, ces données peuvent servir à concevoir des modèles prédictifs de croissance comme le suggère Parra *et al.* (2014) dans leurs travaux sur la modélisation biométrique chez les insectes entomophages.

Par exemple, dans des élevages à grande échelle, si les pesées ne sont pas possibles régulièrement, l'évaluation visuelle ou au pied à coulisse du diamètre peut suffire à estimer les poids et à planifier les récoltes. Cela permet de réduire le temps et les ressources nécessaires pour les suivis de production.

En somme, cette étape statistique permet de renforcer la précision des décisions zootechniques dans les élevages larvaires, surtout pour les systèmes artisanaux.

- **Effets du substrat sur la mortalité des *Rhycomphorus phoenicis*.**

La mortalité larvaire constitue un indicateur critique de l'efficacité d'un substrat en élevage. Selon Diener *et al.* (2011), un taux de mortalité inférieur à 10 % est considéré comme acceptable en élevage d'insectes comestibles; au-delà, il suggère des déséquilibres dans les conditions abiotiques ou nutritionnelles. Les résultats de cette étude sont en accord avec les observations de Rumpold et Schlüter (2013), qui ont démontré que la nature du substrat a un impact direct sur la survie des larves en raison de la présence ou non de toxines secondaires, de moisissures, ou d'un pH défavorable.

Par ailleurs, une forte mortalité peut aussi résulter de la compétition intra-spécifique, souvent exacerbée dans les substrats de mauvaise qualité où les ressources sont rapidement limitées, comme le note Liland *et al.* (2017) dans leurs travaux sur *Tenebrio molitor* et *Hermetia illucens*.

Un autre facteur majeur est l'humidité: Ng'ang'a *et al.* (2022) ont montré que des substrats trop secs (<40 % d'humidité) augmentent significativement la mortalité chez les larves d'insectes, tandis qu'un excès d'humidité peut favoriser la putréfaction et les maladies fongiques.

- **Effet des substrats sur les qualités organoleptiques des larves *Rhycomphorus phoenicis***

Les résultats confirment que la qualité organoleptique des larves de *R. phoenicis* est étroitement liée à leur alimentation, comme l'ont montré Halloran *et al.* (2016) dans leur étude sur les perceptions sensorielles des insectes comestibles en Afrique de l'Ouest. Les substrats riches en fibres et matières grasses saines (comme les résidus de fruits ou certaines farines végétales) favorisent des profils organoleptiques plus attractifs. Ceci est corroboré par Tan *et al.* (2015), qui ont démontré que les larves élevées sur substrats mixtes (fruits + légumes + céréales) présentent un goût plus neutre et une texture appréciée des consommateurs.

D'un point de vue pratique, l'acceptabilité sensorielle est cruciale pour la valorisation commerciale de ces larves comme source alternative de protéines. Les substrats mal adaptés peuvent engendrer des goûts âcres ou une odeur désagréable, ce qui constitue un frein à leur adoption, comme le note Tan *et al.* (2015). En intégrant ces résultats, il devient évident qu'une formulation rationnelle du substrat d'élevage doit viser non seulement la croissance optimale, mais aussi la qualité gustative et nutritionnelle finale du produit, en particulier pour des débouchés alimentaires humains.

5. CONCLUSIONS

L'étude a permis de démontrer que la canne à sucre et le stipe de palmier sont des substrats favorables à la croissance et développement des larves de *Rhynchophorus phoenicis*, tout en limitant la mortalité. Les tourteaux palmistes et les troncs de bananiers se sont révélés moins adaptés, induisant une mortalité élevée et une croissance moindre. Les paramètres morphométriques sont fortement corrélés entre eux, ce qui permettrait d'estimer le poids à partir de mesures simples. Ces résultats confirment le potentiel de certaines matières organiques locales comme substrats dans le contexte de lutte contre la malnutrition.

L'étude suggère la valorisation locale de résidus agricoles abondants (canne à sucre, stipe de palmier) pour développer des unités d'entomoculture ; promouvoir l'acceptabilité de l'entomophagie à travers des campagnes d'éducation nutritionnelle ; étudier la composition nutritionnelle précise des larves issues de différents substrats ; explorer des combinaisons de substrats pour maximiser à la fois croissance et qualités organoleptiques et intégrer l'élevage d'insectes dans les programmes de sécurité alimentaire et développement rural.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Banjo, A. D., Lawal, O. A., & Songonuga, E. A. (2006). The nutritional value of fourteen species of edible insects in southwestern Nigeria. *African Journal of Biotechnology*, 5(3), 298–301.
- [2] Barragán-Fonseca, K. B., Dicke, M., & van Loon, J. J. A. (2017). Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens*) and its suitability as animal feed—a review. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(2), 105–120.
- [3] Bessaoud, A., Hafsi, A., & Khelifi, M. (2018). Effet de différents substrats sur le développement et la biomasse des larves de *Tenebrio molitor*. *Journal of Applied Biosciences*, 132, 13410–13419.
- [4] Chapman, A. D. (2013). *The insects: structure and function*. Cambridge University Press.
- [5] Chen X., Feng Y., Chen Z. 2009. Common edible insects and their utilization in China. *Entomological Research* 39. 299-303.
- [6] Daly, H. V., Doyen, J. T., & Purcell, A. H. (1998). *Introduction to insect biology and diversity*. Oxford University Press.
- [7] Diener, S., Zurbrugg, C., & Tockner, K. (2011). Conversion of organic material by black soldier fly larvae: establishing optimal feeding rates. *Waste Management & Research*, 29(5), 603–610.

- [8] Dounias E. 1993. Dynamique et gestion différentielle du système de production à domaine agricole des Mvae du sud Cameroun forestier. Thèse de doctorat, Université Montpellier II, 632 p. multigraphiées.
- [9] Durst, P., Johnson, D. V., Leslie, R. N., & Shono, K. (2010). Forest insects as food: humans bite back. FAO Regional Office for Asia and the Pacific.
- [10] FAO. (2013). Edible insects: Future prospects for food and feed security. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- [11] Fazoranti, J. O., & Ajiboye, D. O. (1993). Some edible insects of Kwara State, Nigeria. *American Entomologist*, 39(2), 113–116.
- [12] Garine I., 2000. Se nourrir en forêt. Programme Avenir des peuples des Forêts Tropicales, Bruxelles. Vol II. www.cefe.cnrs.fr/coev/pdf/dounias/XGarine.pdf
- [13] Halloran, A., Roos, N., Flore, R., & Hanboonsong, Y. (2016). Edible insects in sustainable food systems. Springer.
- [14] Hardouin J. 2003. Production d'insectes à des fins économiques ou alimentaires: Min-élevage et BEDIM. *Notes fauniques de Gembloux*, 50: 15-25.
- [15] Kapumba 2020. Cours d'éthique et déontologie professionnelle, UNIKIK, FACAGRO, 2ème grade, Inédit.
- [16] Kouassi, K. P., Koua, B. H., Kouassi, K. M., & Kouame, L. P. (2012). Influence du substrat d'élevage sur les paramètres biologiques des larves de *Cirina butyrospermi* (Lepidoptera: Saturniidae). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6(2), 837–846.
- [17] Lass, S., Wiegand, M., & Greven, H. (2019). Morphological and nutritional changes during larval development of *Zophobas morio*. *Journal of Insect Physiology*, 116, 28–34.
- [18] Liland, N. S., Biancarosa, I., Araujo, P., Biemans, D., Bruckner, C. G., Waagbø, R., Torstensen, B. E., & Lock, E.-J. (2017). Modulation of nutrient composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) by feeding seaweed-enriched media. *PLOS ONE*, 12(8), e0183188.
- [19] Malaisse F. 1997. Se nourrir en forêt claire africaine-Approche écologique et nutritionnelle. *Les presses agronomiques de Gembloux*, 384 p
- [20] Mboumba, J. F., Kekeunou, S., Tamesse, J. L., & Messi, J. (2016). Influence of substrates on the growth and development of edible larvae of *Cirina butyrospermi*. *Journal of Insect Science*, 16(1), 108.
- [21] Milau E F., Aloni J., Mahele E., Kimunseki A. & Frédéric F., « Contribution à l'étude de la biodiversité entomologique associée à la culture de manioc (*Manihot esculanta Crantz*) dans le territoire de Mbanza-Ngungu (RDC) », *Entomologie faunistique - Faunistic Entomology* [En ligne], Volume 73 (2020), URL : <https://popups.uliege.be/2030-6318/index.php?id=4723>.
- [23] Monzenga J.C. 2015. Ecologie appliquée de *Rhynchophorus phoenicis* Fabricius (Dryophthoridae: Coleoptera) : phénologie et optimisation des conditions d'élevage à Kisangani, R.D.Congo. Thèse de doctorat, Université Catholique de Louvain, Belgique. 217p.
- [24] Mutungi, C., Affognon, H., Njoroge, A., Ekesi, S., & Nakimbugwe, D. (2017). Postharvest processes of edible insects in Africa: A review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 41, 1–12.

- [25] Ng'ang'a, J. W., Muriuki, J. M., & Ayieko, M. A. (2022). Effect of substrate moisture levels on the growth and survival of edible larvae in rural farming systems. *Journal of Insects as Food and Feed*, 8(2), 203–210.
- [26] Ngoula, F., Kana, J. R., Tchoumboue, J., & Tegua, A. (2020). Nutritional evaluation and growth performance of African edible larvae reared on various organic substrates. *Journal of Animal Research and Nutrition*, 5(1), 1–8.
- [27] Nyakeri, E. M., Ogola, H. J. O., Ayieko, M. A., & Amimo, F. A. (2017). Valorisation of organic waste material by composting and use of black soldier fly larvae for sustainable animal feed production. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(3), 193–202.
- [28] Oonincx, D. G. A. B., van Broekhoven, S., van Huis, A., & van Loon, J. J. A. (2015). Feed conversion, survival and development, and composition of four insect species on diets composed of food by-products. *PLoS ONE*, 10(12), e0144601.
- [29] Oonincx, D. G., & de Boer, I. J. (2012). Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans—a life cycle assessment. *PLoS ONE*, 7(12), e51145.
- [30] Parra, J. R. P., Coelho, A., Bento, J. M. S., & Zucchi, R. A. (2014). Biology and behavior of insects: modeling population dynamics. Springer.
- [31] Rumpold, B. A., & Schlüter, O. K. (2013). Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition & Food Research*, 57(5), 802–823.
- [32] Tan, H. S. G., Fischer, A. R. H., Tinchan, P., Stieger, M., Steenbekkers, L. P. A., & Trijp, H. C. M. (2015). Insects as food: exploring cultural exposure and individual experience as determinants of acceptance. *Food Quality and Preference*, 42, 78–89.
- [33] Tanga, C. M., Maalim, H., & Ekesi, S. (2021). Impact of organic waste types on growth, development, and body composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*). *Waste Management*, 120, 680–688.
- [34] Tchuenguem, F. F. N., Messi, J., & Pauly, A. (2002). Diversité et abondance des insectes floricoles de quelques plantes à fleurs dans la savane soudano-guinéenne du Cameroun. *Bulletin de la Société Entomologique de France*, 107(2), 183–190.
- [35] Van Huis A. 2013. Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual review of entomology*, 58, 563-583.
- [36] Van Huis, A., Van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., & Vantomme, P. (2013). Edible insects: Future prospects for food and feed security. *FAO Forestry Paper* 171.