

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTRE DE L'ENDEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



مخبر بحث حول النباتات الطبية و العطرية
**Laboratoire de Recherche Plantes Médicinales et
Aromatiques**
جامعة البليدة 1
UNIVERSITE BLIDA 1



Faculté des sciences de la nature et de la vie

Département des Biotechnologies et Agroecologie

*Mémoire de fin d'étude pour l'obtention de diplôme de Master Académique en sciences de
la nature et de la vie*

Option : Agroenvironnement et Bio-indicateurs

**Effets des apports en intrants biologiques sur la croissance de la
tomate**

Présenté par :

CHEGGOUR Yasmine BOUHADJAR Ikram et MOUDJED Fairouz .

Devant le jury

Mr ABBAD M.	MCA	Président	U. Blida 1
Mr HAMIDI Y.	MCB	Examineur	U. Blida 1
Mme ALLAL BENFEKIH L.	Pr	Promotrice	U. Blida 1

Année universitaire:2021-2022

Effets des apports en intrants biologiques sur la croissance de la tomate.

Résumé

Les ressources naturelles, partie intégrante de la biodiversité, représentent des atouts essentiels au développement d'une agriculture durable. Pour pallier à l'utilisation seule de la fertilisation chimique dans le long terme .

Le présent travail a porté sur l'évaluation de l'effet d'un fertilisant naturel obtenu via des larves de la mouche soldat noire et un engrais chimique sur la croissance de la tomate, le développement de BSF est appréhendé par ailleurs selon la nature des déchets fournis. L'essai a été réalisé en des conditions semi-naturelle.

L'étude consiste en un test avec des doses de 5g de fertilisant / 20g du sol et 5g de fertilisant / 40g du sol et pour l'engrais chimique en a mélangé 0,6 g de Floratone dans 1 Litre d'eau .

Il ressort de cette étude que la diète constituée du mélange de déchet animale et végétale permis d'obtenir de meilleures performances de croissance larvaire , et que le compost issu de ces larves a induit un meilleur effet sur la croissance des plants de tomate . Sachant que leur métabolisme est affecté par le changement climatique S'il fait trop froid <20° , les larves ralentiront leur métabolisme, mangeront moins et se développeront plus lentement.

Pour protégé nos plants on a utilisé un biopesticide à base d'ail qui s'est avéré efficace pour affronter les nuisibles externes.

Mots clés : mouche soldat noire BSF (black soldier fly) ,tomate saint pierre , Biofertilisant, fertilisant chimique Floratone , biopesticide .

Effects of biological inputs on tomato growth.

summary

Natural resources are an integral part of biodiversity and represent essential assets for the development of sustainable agriculture and to overcome the use of chemical fertilization alone in the long term.

This work focused on the evaluation of the effect of a natural fertilizer obtained via black soldier fly larvae and a chemical fertilizer on the growth of tomato, the development of BSF is also apprehended according to the nature of the waste provided. The test was carried out under semi-natural conditions.

The study consists of a test with doses of 5g of fertilizer in 20g of soil and 5g of fertilizer in 40g of soil and for chemical fertilizer mixed 0.6 g of Floratone in 1 Liter of water.

It appears from this study that the diet consisting of a mixture of animal and vegetable waste made it possible to obtain better larval growth performance, and that the compost from these larvae induced a better effect on the growth of tomato plants. Knowing that their metabolism is affected by climate change If it is too cold $<20^{\circ}$, the larvae will slow down their metabolism, eat less and grow more slowly.

To protect our plants, we used a garlic-based biopesticide that has proven effective in dealing with external pests.

Keywords: black soldier fly , tomato, Biofertilizer, chemical fertilizer Floratone, biopesticide.

Effets des apports en intrants biologiques sur la croissance de la tomate.

Résumé

Les ressources naturelles, partie intégrante de la biodiversité, représentent des atouts essentiels au développement d'une agriculture durable. Pour pallier à l'utilisation seule de la fertilisation chimique dans le long terme .

Le présent travail a porté sur l'évaluation de l'effet d'un fertilisant naturel obtenu via des larves de la mouche soldat noire et un engrais chimique sur la croissance de la tomate, le développement de BSF est appréhendé par ailleurs selon la nature des déchets fournis. L'essai a été réalisé en des conditions semi-naturelle.

L'étude consiste en un test avec des doses de 5g de fertilisant / 20g du sol et 5g de fertilisant / 40g du sol et pour l'engrais chimique en a mélangé 0,6 g de Floratone dans 1 Litre d'eau .

Il ressort de cette étude que la diète constituée du mélange de déchet animale et végétale permis d'obtenir de meilleures performances de croissance larvaire , et que le compost issu de ces larves a induit un meilleur effet sur la croissance des plants de tomate . Sachant que leur métabolisme est affecté par le changement climatique S'il fait trop froid <20° , les larves ralentiront leur métabolisme, mangeront moins et se développeront plus lentement.

Pour protégé nos plants on a utilisé un biopesticide à base d'ail qui s'est avéré efficace pour affronter les nuisibles externes.

Mots clés : mouche soldat noire BSF (black soldier fly) ,tomate saint pierre , Biofertilisant, fertilisant chimique Floratone , biopesticide .

Effects of biological inputs on tomato growth.

summary

Natural resources are an integral part of biodiversity and represent essential assets for the development of sustainable agriculture and to overcome the use of chemical fertilization alone in the long term.

This work focused on the evaluation of the effect of a natural fertilizer obtained via black soldier fly larvae and a chemical fertilizer on the growth of tomato, the development of BSF is also apprehended according to the nature of the waste provided. The test was carried out under semi-natural conditions.

The study consists of a test with doses of 5g of fertilizer in 20g of soil and 5g of fertilizer in 40g of soil and for chemical fertilizer mixed 0.6 g of Floratone in 1 Liter of water.

It appears from this study that the diet consisting of a mixture of animal and vegetable waste made it possible to obtain better larval growth performance, and that the compost from these larvae induced a better effect on the growth of tomato plants. Knowing that their metabolism is affected by climate change If it is too cold $<20^{\circ}$, the larvae will slow down their metabolism, eat less and grow more slowly.

To protect our plants, we used a garlic-based biopesticide that has proven effective in dealing with external pests.

Keywords: black soldier fly , tomato, Biofertilizer, chemical fertilizer Floratone, biopesticide.

تأثير المدخلات البيولوجية على نمو الطماطم .

ملخص :

الموارد الطبيعية ، جزء لا يتجزأ من التنوع البيولوجي ، وتمثل الأصول الأساسية لتنمية الزراعة المستدامة و للتغلب على استخدام التسميد الكيميائي وحده على المدى الطويل

ركز هذا العمل على تقييم تأثير السماد الطبيعي الذي تم الحصول عليه عن طريق يرقات ذبابة الجندي الأسود سماد مع تأثير سماد كيميائي على نمو الطماطم ، كما تم تتبع تطور ذبابة الجندي الأسود وفقا لطبيعة الأعذية المقدمة تم إجراء الاختبار في ظل ظروف شبه طبيعية .

تتكون الدراسة من اختبار بجرعات 5 جم سماد / 20 جم تربة و 5 جم سماد / 40 جم تربة و أسمدة كيماوية مخلوطة 0.6 جم من فلوراتون في 1 لتر ماء

يبدو من هذه الدراسة أن النظام الغذائي الذي يتكون من خليط من فضلات الحيوانات والنباتات جعل من الممكن الحصول على أداء أفضل لنمو اليرقات ، وأن السماد من هذه اليرقات كان له تأثير أفضل على نمو نباتات الطماطم. مع العلم أن عملية التمثيل الغذائي تتأثر بتغير المناخ إذا كانت درجة الحرارة أقل من 20 درجة مئوية ، فإن اليرقات ستبطئ عملية التمثيل الغذائي ، وتأكل أقل وتنمو بشكل أبطأ

من أجل حماية نباتاتنا، استخدمنا مبيدًا حيويًا مستخلصًا من الثوم و الذي أثبتت فعاليته في التعامل مع الآفات الخارجية.

الكلمات المفتاحية: ذبابة الجندي الأسود، طماطم ، سماد حيوي، سماد كيماوي فلوراتون ، مبيد حيوي .

REMERCIEMENTS

Nous remercions notre créateur Allah, Grand et Miséricordieux, le tout puissant pour le courage qu'il nous a donnés pour mener ce travail à terme.

Nous exprimons notre profonde reconnaissance et nos vifs remerciements à Mme. Allal L. professeur au Département des Biotechnologies et Agroécologie qui nous a honorées en acceptant de diriger ce travail, pour ses encouragements, ses conseils, sa disponibilité et surtout pour sa patience dans la correction de ce mémoire.

Nos vifs remerciements vont également à Dr Abbad M. et Dr Hamidi Y. Maîtres de conférence au département des Biotechnologies et Agroécologie pour nous avoir honorées de présider notre jury et évaluer ce modeste travail.

Nous tenons à remercier spécialement M. Zitouni Hisham, qui nous a permis d'entrer dans cette expérience.

Nous adressons nos remerciements particuliers à M. Zitouni Hisham, qui nous a permis d'entrer dans cette expérience .

On tient à remercier tous ceux qui nous ont aidés de prêt ou de loin et surtout tous les enseignants qui ont su nous transmettre leur savoir.

Fairouz, Ikram et Yasmin

Dédicaces

Tout d'abord je remercie ALLAH le tout puissant de m'avoir donné la foi, de m'avoir guidé sur le droit chemin tout au long du travail, et de m'avoir permis d'en arriver là.

A la lumière de ma vie, mes très chères parents qui ont été toujours à mes côtés, qui m'ont soutenue et encouragé, et qui sans leur amour, leur compréhension, leurs conseils et leur tolérance je n'aurais jamais pu atteindre mes objectifs, ma mère et mon père je vous dis merci et que dieux vous protège pour nous.

*A mon mari qui ma supportée, encouragée, et surtout qui m'a aimée
A mes amies qui ont partagé avec moi les moments difficiles et les beaux souvenirs de ce travail.*

A tous mes enseignants depuis le primaire jusqu'à l'université avec tous mes sincères remerciements et tous mes respects.

A tous ceux qui m'aiment, que j'ai cité ou non ; je leurs dis du fond du cœur

Merci pour tout

Yasmine

Dédicaces

Tout d'abord je remercie ALLAH le tout puissant de m'avoir donné la foi, de m'avoir guidé sur le droit chemin tout au long de ce travail, et de m'avoir permis d'en arriver là.

A la lumière de ma vie, mes très chères parents qui ont été toujours à mes côtés, qui m'ont soutenue et encouragé, et qui sans leur amour, leur compréhension, leur conseil et leur tolérance je n'aurais jamais pu atteindre mes objectifs, ma mère et mon père je vous dis merci et que Dieu vous protège pour nous.

A ma famille, mes oncles et tantes, cousins et cousines et surtout mes très chères sœurs.

A mes amies qui ont partagés avec moi les moments difficiles et les beaux souvenirs de ce travail.

A tous mes enseignants depuis le primaire jusqu'à l'université avec tous mes sincères remerciements et tous mes respects.

A tous qui m'aiment, que j'ai cité ou non ; je leurs dis du fond du cœur

Merci pour tous

Ikram

Dédicaces

Avant toute personnes, je remercie Allah le tout puissant.

*C'est avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie que je
dédie ce modeste travail*

*A ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais
à leur exprimer ma gratitude et mon amour sincère Mes chers parents.*

*A l'homme de ma vie qui a toujours été à mes côtés pour me soutenir et
m'épauler, j'aspire d'être la source de ta fierté mon père.*

*A ma cher mère ma source de force qui n'a épargné aucun effort pour
me supporter et qui a éclairci mon chemin qui a fait de moi ce que je
suis aujourd'hui.*

*Que dieu les garde et leur accorde santé bonheur prospérité et longue vie
afin que je puisse un jour combler de joie leurs vieux jours.*

*A ma grand-mère Hamouni Aicha qui nous a toujours soutenu par ses
prières puisse Dieu te protéger et te garder pour nous.*

*A ma chatte stella pour m'accompagner dans ce travail et de me donner
de l'énergie positive.*

*A mes chères amis Safa, Ibtissem, Kaouter pour les moments
inoubliables que nous avons partagés ensemble.*

*A toute ma famille en temoignage de ma grande affection de ma
reconnaissance*

Fairouz

Liste des tableaux :

Tableau 1 Durée en jours du développement de la mouche soldat noire en conditions semi naturelles selon la nourriture attribuée.**Error! Bookmark not defined.**

Tableau 2 Tailles (mm) des larves de la mouche soldat noire durant leur développement sous l'effet des différents déchets (CA : compost d'origine animale, CV : compost d'origine végétal, CM : compost mixte).....**Error! Bookmark not defined.**

Tableau 3 Evolution des tailles moyennes (mm) des larves de la mouche soldat noire. ..**Error! Bookmark not defined.**

Liste des Figures :

Figure 1 . Répartition de la tomate à l'échelle internationale (Gallais et Bannerot, 1992).....	3
Figure 2 . Système racinaire (CHAUX et FOURY, 1994).....	4
Figure 3 . Coupe longitudinale d'une fleur de tomate.....	5
Figure 4 . Section transversale d'une tomate (A) Fruit de tomate (B), (Dore & Varoquaux, 2006).....	5
Figure 5 . Cycle de la croissance de la tomate. (Anonyme, 2020).....	6
Figure 6 . Stades de la croissance de la tomate.....	7
Figure 7 . Eléments de nutrition pour la fertilisation des tomates.....	10
Figure 8 . Recyclage des déchets par la mouche soldat noire.....	13
Figure 9 . Mouche soldat noire <i>Hermetia illucens</i>	14
Figure 10 Répartition de la mouche soldat noire dans le monde.....	15
Figure 11 Stades biologiques de la mouche soldat noire, (google image).....	16
Figure 12 Cycle de développement de la mouche soldat noire (De Smet et al, 2018).....	17
Figure 13 . Alimentation pour les larves de BSF (Google image).....	18
Figure 14 . Volière en bois et bacs en plastique pour l'élevage des mouches soldat noire.(original, 2022).....	21
Figure 15 . Larves de différents stades biologiques de la population initiale de la mouche soldat noir (original, 2022).	22
Figure 16 . Larves cherchant un lieu de pupaison dans la sciure de bois entourant les boîtes d'élevage, (original, 2022).....	23
Figure 17 . Larves de la mouche soldat noire se nourrissant des déchets d'origine végétale (original,2022).....	23
Figure 18 . Larves de la mouche soldat noire se nourrissant des déchets d'origine animale (original, 2022).....	24
Figure 19 . Coque d'œufs broyée (A) et os broyés (B) (original, 2022).	24
Figure 20 . Larves de la mouche soldat noire se nourrissant d'un mélange de déchets (d'origine animal et végétale) (original, 2022).....	25
Figure 21 . Quantités de compost obtenu après un mois à travers l'élevage des larves de la mouche soldat A : compost d'origine animale, B : compost d'origine végétale, C : compost mixte,(original, 2022).....	25
Figure 22 . Construction d'un pondoir avec des abaisses langue, (original, 2022).....	26
Figure 23 . Boîte contenant 20 larves âgées de 10 jours après éclosion(original, 2022).....	27
Figure 24 . Matériel utilisé pour la préparation du semis et du repiquage de la tomate (original,2022).....	28
Figure 25 . Etapes suivies pour la préparation du semis et du repiquage de la tomate (original, 2022).....	29
Figure 26 . Etapes de préparation du sol pour le repiquage (a et b) et intrants utilisés pour l'étude de la croissance de la tomate : c) composts d'origine animale, végétale et mixte, issus de l'élevage de <i>H. illucens</i> , substance de croissance 'Floratone' (original, 2022).....	30
Figure 27 . Préparation du traitement biopesticide à base d'ail (original, 2022).	30
Figure 28 . Emergence des adultes de la mouche soldat noir (original, 2022)	33

Figure 29. Accouplement et ponte des mouches soldat noir (original, 2022).....	33
Figure 30. Aspect des pontes de la mouche soldat noire dans les pondoirs en abaisse langue(A et B) et les alvéoles des morceaux de cartons d’emballage,	
Figure 31 . Variation des émergences et des mortalités des individus de la mouche soldat noire dans les conditions semi naturelles durant la période avril-juin 2022.....	34
Figure 32 . Evolution des émergences des mouches de seconde génération en fonction de la nourriture.....	36
Figure 33. Variation des taux d’émergence de la mouche soldat noire en fonction du temps (mois d’août) et du substrat nutritif (ANOVA, GLM, Systat vers.12).....	37
Figure 34. Germination des tomates variété « Saint Pierre » au laboratoire (original, 2022).....	39
Figure 35 . Variation temporelle des hauteurs moyennes des plants de tomate sous l’effet comparé des trois types de compost (CM, CV et CA) avec l’apport en régulateur de croissance(ENG) et le témoin.....	40
Figure 36 . Aspect de la croissance en hauteur des plants de tomate avant (A) et après incorporation des différents déchets.....	41

Liste des abréviations :

D.A : déchets animales

D.V : déchets végétales

D.MIX : déchets mix (mélange entre animal végétal)

BSF : black soldier fly

g :gramme

C° : degré Celsius

pH: Potentiel d'hydrogene

J : jour

% : pourcentage

Cm : centimètre

Table des matières :

REMERCIEMENTS

RESUMES

LISTE DES ABREVIATIONs

LISTE DES FIGURES

INTRODUCTION

CHAPITRE 1 : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1.	Généralités sur la tomate.....	3
1.1.1.	Origine et historique.....	3
1.1.2.	Caractéristiques morphologiques de la tomate.....	4
1.1.3.	Cycle de développement de la tomate.....	6
1.1.4.	Exigences de la culture de tomate	8
1.2.	Les intrants biologiques	10
1.3.	Utilisation des apports en composts	11
1.3.1.	Les différents types de compost	11
1.3.2.	Recyclage des déchets organique par la mouche soldat noire :	13
1.4.	Présentation de la mouche soldat noire (BSF)	14
1.4.1.	Taxonomie.....	14
1.4.2.	Historique et répartition :	14
1.4.3.	Caractéristiques morphologiques:	15
1.4.4.	Cycle de développement et facteurs limitant	16
1.4.5.	Alimentation :.....	17
1.4.6.	Importance économique et écologique	19

CHAPITRE 2 : MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1.	Objectifs de l'étude :	20
2.2.	Elevage de la mouche soldat noire :	20
2.2.1.	Matériel d'élevage	20
2.2.2.	Origine du matériel biologique	21
2.2.3.	Préparation des lots d'élevage	22
2.2.4.	Déchets utilisés	23

2.3. Compost obtenu	25
2.4. Etude de développement de la mouche soldat noire en relation avec le type de substrat nutritif	26
2.4.1. Elevage des mouches de la population initiale	26
2.4.2. Etude de la durée de développement des larves issues de la population initiale en fonction de leur alimentation	27
2.4.3. Etude de l'effet des composts issus de l'élevage de la mouche soldat noire sur la germination et la croissance de la tomate	27
2.4.3.1. Matériels utilisés	27
2.4.3.2. Méthodologies	28
a. -Préparation des semis (figure 25)	28
b. -Repiquage en plaques à alvéoles (figure 25)	29
c. Apports en compost	29
d. Traitement biopesticide	30
2.4.3.3. Réalisation des bioessais	31
2.4.4. Paramètres étudiés	32
2.4.4.1. Suivi de l'émergence des adultes issus de la population larvaire initiale	32
2.4.4.2. Suivi de l'émergence des adultes issus de la population larvaire de la descendance selon le substrat nutritif	32
2.4.4.3. Effet des intrants biologiques sur la croissance en hauteur des plants de tomate	32

CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION

Résultats.....	33
3.1.Suivi de l'émergence des mouches adultes à partir de la population initiale	33
3.2.Suivi de l'émergence des adultes issus de la population larvaire de la descendance selon le substrat nutritif	35
3.3.Croissance de la tomate en relation avec les apports des digérats larvaires	39
Discussion générale.....	42
CONCLUSION GENERALE ET PRESPECTIVES..	45
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE.....	46

INTRODUCTION

En agriculture, le terme intrant est employé pour désigner l'ensemble des produits qui ne sont pas naturellement présents dans le sol et qui y sont rajoutés afin d'améliorer le rendement de la culture. Les intrants ont plusieurs fonctions. Pour améliorer la qualité du sol, ses propriétés physiques et chimiques, l'agriculture a recours à des engrais, à des activateurs ou à des retardateurs de croissance, à des amendements, etc.

C'est entre les deux guerres et avec l'essor de la chimie que la plupart d'entre eux ont fait leur apparition. Puis, ils ont été de plus en plus massivement utilisés. Mais aujourd'hui, la limitation des intrants surtout chimiques dans les cultures est tout l'enjeu de l'agriculture raisonnée et de l'agriculture biologique, (Futura Sciences, 2019)

En agriculture biologique, les intrants doivent être d'origine naturelle, comme le sulfate de cuivre minéral, alors qu'en agriculture conventionnelle, ils peuvent être synthétiques, c'est-à-dire fabriquées en laboratoire. Les effluents d'élevage sont la première source d'engrais en agriculture biologique. Toutefois ceux issus d'élevages industriels sont interdits. Toute la question porte donc sur la caractérisation des élevages, (Mignot, 2020)

Le terme «matières organiques» (MO) recouvre à la fois tout ce qui concerne les apports d'engrais et d'amendements organiques, mais aussi ce que l'on appelle la «matière organique du sol» (MOS), liée aux cycles biogéochimiques du carbone et de l'azote. Cette MOS est en lien direct avec les apports d'engrais et d'amendements organiques, mais également avec la gestion des résidus de cultures, des engrais verts, le travail du sol, etc. (Leclerc, 2002). Parmi les déchets organiques d'origine urbaine et périurbaine, on trouve principalement les déchets verts et les biodéchets des ménages, qui seront de plus en plus proposés au milieu agricole, et pour participer au recyclage des déchets au niveau local. Cependant, l'utilisation de ces déchets organiques nécessite de réunir un faisceau de connaissances qui sont à l'heure actuelle encore insuffisantes et très dispersées. Les thèmes à approfondir concernent à la fois la qualité des matières premières entrantes, leur traitement, l'organisation économique du recyclage, la valorisation agronomique des produits obtenus après traitement (en général compostage). (Ledrec., 2001).

Les déchets organiques sont en outre un autre fléau qui s'impose où leurs accumulations posent un grand défi à l'environnement et à la santé humaine, et qui se traduisent par de grandes pertes économiques s'ils ne sont pas intégrés dans des programmes de recyclage performants. La mouche soldat noire *Hermetia illucens*, de par sa capacité à bioconvertir ces

déchets, et de les valoriser, en les transformant en une source alimentaire complète, et de très bonne qualité, se présente comme une solution perspicace pour réduire le taux de génération des déchets organiques, et servir d'aliment alternatif pour le bétail.

Le travail du présent mémoire s'inscrit dans cette optique. Nous nous sommes intéressées à deux objectifs.

Le premier objectif a concerné l'étude de la possibilité de production de mouches soldat noire par l'intermédiaire de déchets de différente origine, en conditions semi naturelles.

Le second objectif s'est focalisé sur l'effet de l'apport des digérats issus de la nourriture apportée aux larves sur la croissance en hauteur de la tomate dans les conditions du laboratoire.

Nous avons présenté dans ce document trois chapitres précédés d'une introduction et terminée par une conclusion et des perspectives à ce travail. L'un comprenant des données de synthèse bibliographique, le second sur les matériels et méthodologies consacrées à cette étude préliminaire, le troisième chapitre rapporte les principaux résultats obtenus, leur interprétation et une discussion générale d'après la littérature référencée.

1.1. Généralités sur la tomate

1.1.1. Origine et historique

La tomate (*Solanum lycopersicum* L. ou *Lycopersicon lycopersicum* L.) est une plante annuelle qui appartient au genre *Lycopersicon* qui fait partie de la famille *Solanaceae* (Atherton et Rudish, 1986 ; Guignard, 2001 ; Tahiri, 2008), originaire du nord-ouest de l'Amérique du Sud, largement cultivée pour son fruit (Chanforan, 2010) , originaire du nord-ouest de l'Amérique du Sud, largement cultivée pour son fruit (Chanforan, 2010) où sa domestication remonte à plus de 5000 ans (PYRON , 2006) , Elle a été introduite au Mexique puis en Europe au 16^{ème} siècle par les espagnols et aux restes du monde durant le 19^{ème} siècle (Kolev, 1976).

En Algérie, la tomate a été introduite à travers l'Espagne par les Tomateros en raison des conditions climatiques favorables (LATIGUI, 1984)

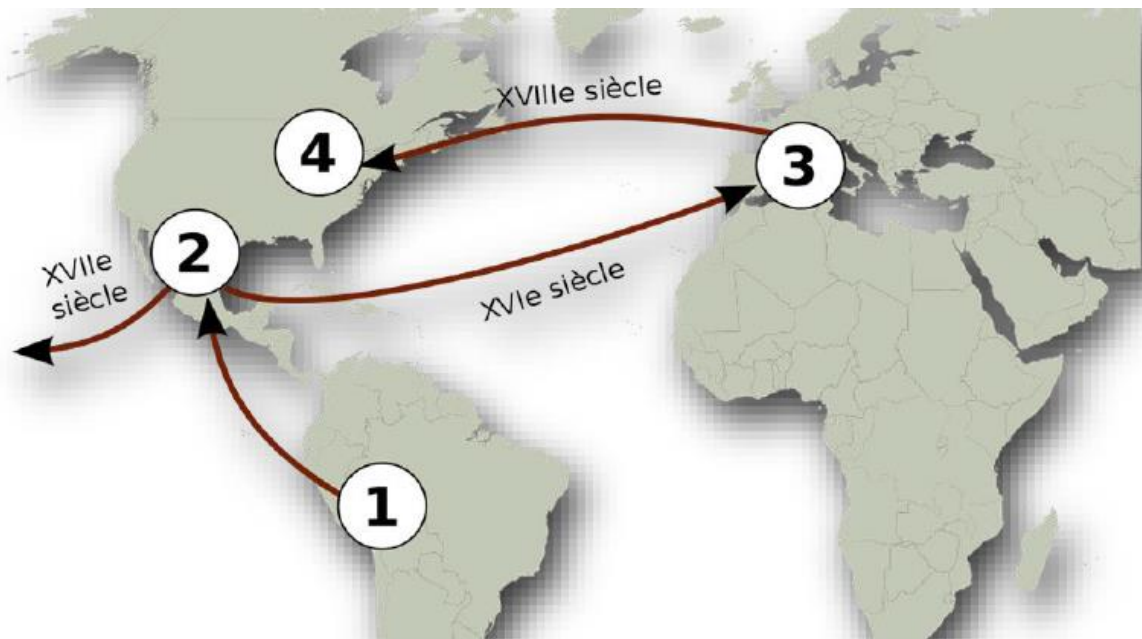


Figure 1 . Répartition de la tomate à l'échelle internationale (Gallais et Bannerot, 1992),
(Echelle 1/212 600000)

1.1.2. Caractéristiques morphologiques de la tomate

Partie souterraine (Le système racinaire):

Chez la tomate, le système racinaire est très développé et présente une forte racine pivotante qui pousse jusqu'à une profondeur de 50 cm et plus (SHANKARA et *al.*, 2005). La racine principale est très dense, ramifiée et très active sur les 30 à 40 premiers cm (Chaux et Foury, 1994) , pivotant avec nombreuses racines secondaires . (Figure 2).



Figure 2 . Système racinaire (CHAUX et FOURY, 1994)

Parties aériennes

Tiges : Elles sont vertes, épaisses aux entre-nœuds. ont de deux types de poils blanchâtres : des poils simples et des poils glanduleux qui contiennent une huile essentielle, qui donne l'odeur de la tomate et la coloration verte. La tige est herbacée, presque ligneuse. La tige principale peut atteindre une longueur de 200 à 300 cm dépendant de la variété et des conditions de croissance. (INDREA et APAHIDEAN,1988).

Feuilles : Feuilles disposées en spirale, 15 à 50 cm de long et 10 à 30 cm de large. Les folioles sont ovées à oblongues, couvertes de poils glandulaires. Les grandes folioles sont parfois pennatifides à la base. L'inflorescence est une cyme formée de 6 à 12 fleurs. Lépétiole mesure entre 3 et 6 cm (SHANKARA et *al.*, 2005).

Les fleurs : sont actinomorphes, autogames, de couleur jaune et pentamères. Bisexuées, régulières et entre 1,5 et 2 cm de diamètre. Ces bouquets apparaissent en général régulièrement sur la tige chaque fois que la plante a émis trois feuilles. L'ovaire de la tomate est supère situé au-dessus du calice et comporte le plus souvent deux loges ou carpelles mais certaines variétés peuvent en comporter trois ou cinq (JEAN-MARIE, 2007). Elles poussent opposées aux entre les feuilles En général la formule florale de la fleur est la suivante :

5 sépales + 5 pétales + 5 étamines + 2 carpelles (bouzaata, 2016)

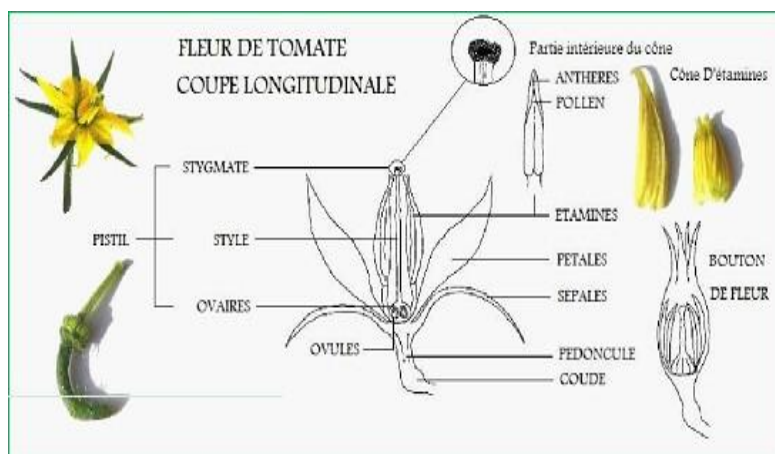


Figure 3 . Coupe longitudinale d'une fleur de tomate

- Fruit : Baie charnue sphériques ou plates de diamètre 2 à 15 cm. Lorsque le fruit n'est pas encore mûr, il devient vert et poilu. La couleur des fruits mûrs varie du jaune au rouge en orange. En général, les fruits sont ronds, réguliers ou côtelés (SHANKARA et *al.*, 2005 ; Bénard, 2009 ; Bouzaata, 2016).

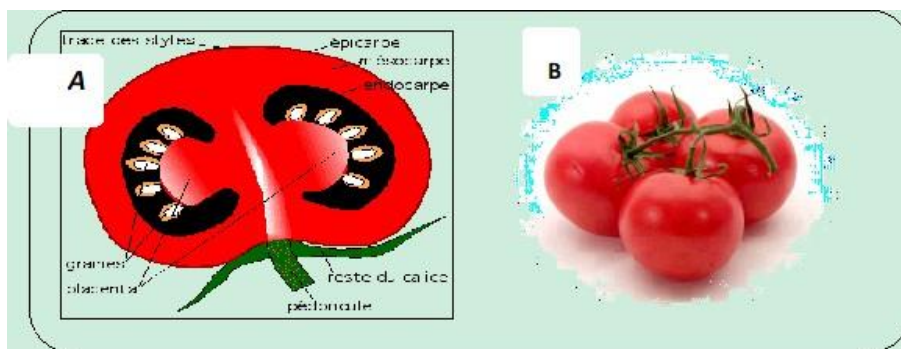


Figure 4 . Section transversale d'une tomate (A) Fruit de tomate (B), (Dore & Varoqaux, 2006).

1.1.3. Cycle de développement de la tomate

La croissance de la tomate se fait du semis à la récolte. Elle se déroule environ en 4 mois. Elle passe par un nombre d'étapes toutes aussi importantes les unes que les autres. Il y a 7 grandes étapes (figure 5). A chaque étape, les besoins de la tomate varient et il faut adapter l'apport en nutriments.

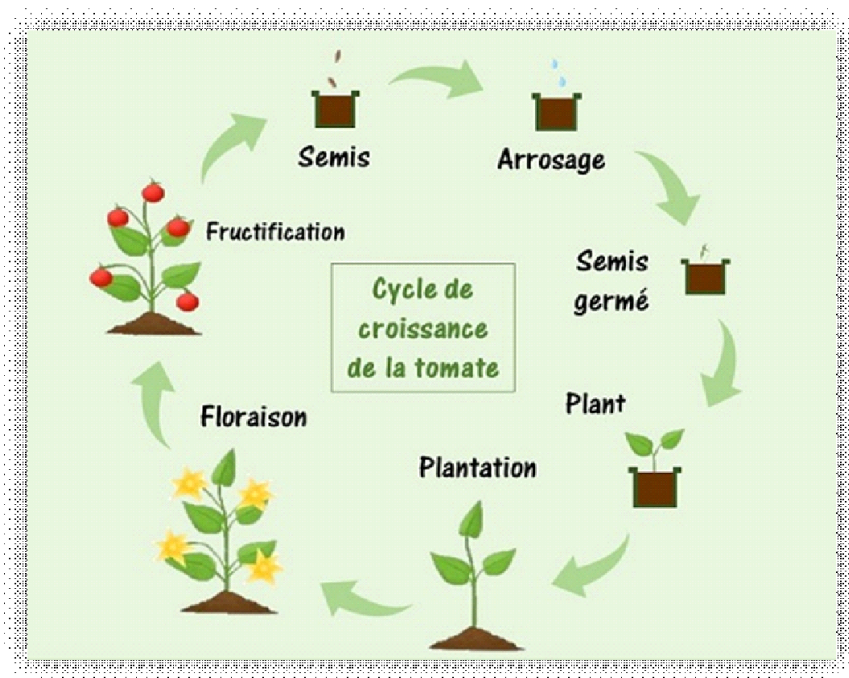


Figure 5 . Cycle de la croissance de la tomate. (Anonyme, 2020).

-Le semis doit se faire avec des conditions optimales pour la germination des graines. La lumière est très importante à ce stade.

-L'arrosage: Un apport en eau régulier est nécessaire.

-La plantation: A ce stade, le développement racinaire est primordial, ce qui implique un bon développement du plant.

-La floraison: il est nécessaire de favoriser la floraison pour avoir une récolte abondante.

-La fructification: C'est le stade où les fleurs se transforment en fruit. Il est important d'apporter les nutriments nécessaires au bon développement des fruits.

En intérieur, la culture de tomates est facile car elle nécessite une courte période de croissance, allant de quarante à soixante quinze jours, (Fan2Tomates, 2020), et répartie en quatre étapes.

-Stade de germination: La phase de germination est la phase de dispersion des semences de tomates sur le sol fertilisé. Elle se divise en trois phases: la phase d'absorption de l'eau, puis la digestion des nutriments du sol, en les transformant en un matériau simple, facile à utiliser pour les semences, puis en phase de germination.

-Stade végétatif: Le stade de croissance végétative est le stade de croissance des plantules.

-Stade de la floraison: les fleurs à partir desquelles les fruits vont pousser apparaissent et le plant de tomate à ce stade est au plus haut de sa consommation d'eau.

-Stade de fructification : Une des étapes les plus importantes des plants de tomates est qu'elle a besoin de beaucoup de lumière forte, d'une humidité moyenne comprise entre 50 et 70% pour la fertilisation, en plus d'une température idéale comprise entre 25°C et 29 °C, (Rigondet, 2019)

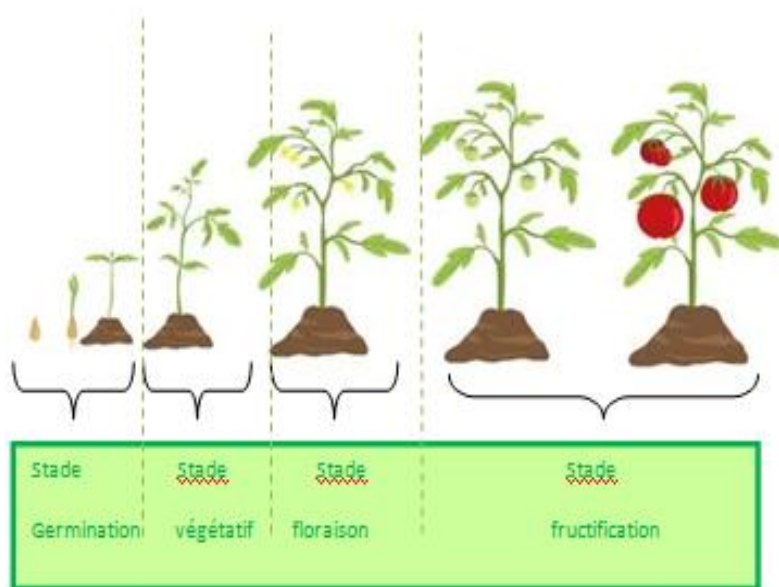


Figure 6 . Stades de la croissance de la tomate

1.1.4. Exigences de la culture de tomate

Exigences climatiques

La température : La température optimale pour la plupart des variétés se situe entre 21 et 24 degrés Celsius. Les plantes peuvent tolérer une certaine plage de températures, mais en dessous de 10°C et au-dessus de 38°C, les tissus végétaux sont endommagés. L'équilibre et la différence entre la température, le jour et la nuit, semblent être essentiels à la bonne croissance et à la nouaison des tomates (Shankara et al., 2005).

L'humidité

Selon Laumonier (1979), la tomate est très sensible à l'hygrométrie. L'humidité durant la phase végétative doit être maintenue à 70-80%. Au de ce seuil, des cas assez fréquents dans les abris plastiques, les risques de botrytis augmentent. Tandis qu'au moment de la floraison, il est souhaitable de descendre à 60%, afin de faciliter la dispersion du pollen.

La lumière

Selon Chaux et Foury (1994), la tomate aime les situations bien ensoleillées, mais elle ne présente pas d'exigences photopériodique La lumière intervient sur la croissance et la fructification de la tomate par sa durée, son intensité et sa qualité.

Exigences édaphiques

La tomate s'adapte à de nombreux types de sols pour peu qu'ils soient profonds et suffisamment perméables (Chaux, 1972).

La tomate tolère modérément un large intervalle de valeurs du pH (niveau d'acidité), mais pousse le mieux dans des sols où la valeur du pH varie entre 5,5 et 6,8 .

Exigence nutritionnelles (Fertilisation de la tomate) :

Les tomates sont des plantes qui ont d'importants besoins en nutriments (figure 7). Il s'agit d'une plante ayant besoin de chaleur et de lumière et elle doit être cultivée à exposition sud, sans ombrage. il est donc important de bien entretenir et fertiliser ses tomates en apportant des matières organiques diverses sur le sol, (Didier, 2020). À moins d'amender le sol avec du fumier ou de compost au moment de la plantation, il est recommandé de stimuler les plantes avec un peu d'engrais afin de leur assurer un bon départ .

Il existe différentes sortes d'engrais utiles pour les tomates comme les engrais NPK qui représentent une formule classique de fertilisant correspondant à l'abréviation des éléments chimiques qui les composent, à savoir azote, phosphore, potassium (Didier, 2020).

Wilhelm KNOP, chimiste agricole allemand, a déterminé, en 1861, les besoins nutritifs précis des plantes vertes nécessaires à leur croissance. Il s'agissait de 4 éléments correspondant aux lettres de son patronyme. Hormis l'oxygène, les trois composants (NPK) sont devenus la base des engrais chimiques sous forme de sels solubles directement assimilables, permettant d'obtenir de gros rendements mais avec des risques importants de lessivage vers les nappes phréatiques et les cours d'eau.

L'**azote (N)** favorise surtout la pousse des parties vertes de la plante (tiges et feuilles), leur précocité et leur développement.

Le **phosphore (P)** joue sur la formation des fleurs et des graines et sur le développement racinaire. Il renforce la résistance naturelle des plantes aux différentes agressions biotiques et abiotiques.

La **potasse (K)** permet la floraison et le développement des fruits et de tous les organes de réserve tels que les racines et les tubercules. La coloration des fleurs et des fruits est améliorée ainsi que la résistance aux maladies.

D'autres éléments peuvent être apportés en nutriments.

Calcium : Le calcium favorise la croissance du feuillage, le développement racinaire et améliore le rendement des tomates. Les apports de calcium à la mi-saison sont indispensables pour un rendement élevé de la culture. Un apport régulier tout au long de la saison est également important et doit être réalisé de façon équilibrée s'agissant des apports de potassium et de magnésium, (Yara, 2019)

Soufre : Le soufre est un nutriment important pour tous les aspects du rendement des tomates. Des applications de soufre sont requises tout au long de la saison. Les sols sont souvent pauvres en soufre, c'est pourquoi les apports foliaires s'avèrent plus efficaces que les applications au sol, (Yara, 2019)

Oligo-éléments : Toute carence en oligo-éléments limite le rendement des tomates. Cependant, il est primordial de s'assurer que le manganèse et le bore n'atteignent pas des niveaux excessifs, qui les rendent toxiques et réduisent la croissance. Le bore est l'oligo-

élément le plus important. Son insuffisance entraîne l'apparition de zones liégeuses sur les épaules des fruits, tandis que ses carences graves restreignent leur formation, (Yara, 2019)

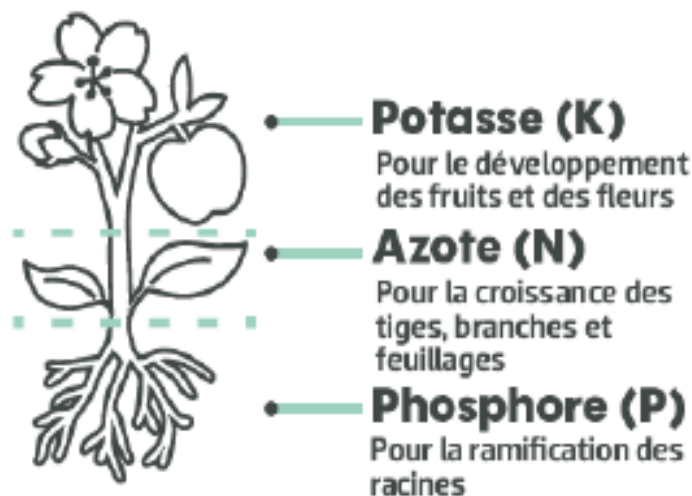


Figure 7 . Eléments de nutrition pour la fertilisation des tomates

1.2. Les intrants biologiques :

En agriculture intensive, les intrants sont différents produits ajoutés à la terre pour améliorer le rendement de production des cultures, (Delporte, 2020). Les bio-intrants sont un levier de progrès majeur pour développer l'agriculture durable, (Vivescia, 2022).

Depuis plusieurs années, de nombreux acteurs se sont en effet attelés à la mise au point de bio-intrants, en particulier les produits de bio-contrôle. Aujourd'hui les bio-intrants fonctionnent bien en maraîchage et en arboriculture parce que les conditions de culture, notamment les surfaces concernées, peuvent être plus facilement contrôlées, (Vivescia, 2022).

Les biointrants incluent à la fois les produits de biocontrôle et les biofertilisants. Ces derniers sont incarnés par les bioinoculants, qui ont connu un intérêt considérable avec l'essor du soja depuis la fin des années 1990. En Argentine et au Brésil, une industrie nationale florissante s'est développée autour de ces technologies, (Goulet, 2021).

Les biofertilisants sont utilisés pour enrichir les sols. Ils peuvent être à base de matières organiques (déjections animales, résidus végétaux, composts) ou de microorganismes. Les

bioinoculants sont des produits essentiellement à base de bactéries fixatrices d'azote sélectionnées et améliorées en laboratoire. Ces bactéries vivent naturellement en symbiose avec les racines des légumineuses (telles que le soja, le pois chiche, les haricots, etc.), capturant les éléments chimiques de l'air et du sol et les restituant sous une forme assimilable à la plante, (Goulet, 2021).

1.3.Utilisation des apports en composts :

L'apport de compost est une source privilégiée de matière organique. Les apports organiques ont pour objectif d'augmenter la fertilité des sols : en nourrissant l'activité biologique du sol, ils conditionnent le potentiel de la culture, (Dragon-darmuzey et *al.*, 2019).

Le compost est souvent considéré, à tort, comme un engrais. Certes, il enrichit le sol en éléments nutritifs, comme les engrais, mais contrairement à eux, il améliore aussi la structure du sol, sa stabilité, et sa fertilité de manière durable. Le compost est donc, à ce titre, un amendement facile à obtenir, économique, et simple à utiliser, (Gerbeaud, 2021).

1.3.1. Les différents types de compost :

Il existe plusieurs différents types de compost en fonction des apports et de la manière de composter.

-Le compost végétal est un compost composé uniquement de matière végétale. Il ne contient pas de fumier ou autres matières animales.

-Le compost de toilette sèche est réalisé à partir des déchets des toilettes sèches et de matières sèches cellulosiques telles que la paille ou les copeaux de bois. Il est conseillé de le composter pendant 2 ans pour éviter tout risques sanitaires ou de l'utiliser en dehors du potager (plantes ornementales, verger, ...).

Il est produit en grande quantité sur des plates-formes collectives ou centres de compostages. Ce compost issu soit exclusivement de matières végétales, soit de co-compostage (mélange avec d'autres matières telles des algues ou du fumier) est en général mûr. Il peut-être utilisé

partout au jardin. Le compost des plates-formes a l'avantage de comporter un taux important de lignine (contenue dans le bois) qui permet d'alléger et d'aérer le sol. Il est souvent vendu en sac ou en vrac directement sur les plates-formes.

-Le compost maison : C'est le compost que chacun réalise lui-même dans son jardin, via une trappe à compost. Il présente l'avantage d'être gratuit.

-Le vermicompostage : c'est une méthode de compostage qui inclut l'action de vers de terre. En effet les vers de terre qui contribuent à la création de complexes argilo-humiques, les tas de fumier et autres milieux riches en matières organiques sont d'excellents accélérateurs de processus. Le vermicompostage se fait en boîte de relativement petite dimension en comparaison avec les composts traditionnels. Le produit issu de ce compostage est appelé vermicompost ,(ekopedia, 2017).

-Le compost ménager : il permet de fertiliser naturellement les plantes d'ornement ou du potager. Il se crée à partir des déchets des repas (fanés et épluchures de légumes, marc de café...), des déchets de jardin (feuilles mortes, mauvaises herbes...), des déchets de maison (mouchoir en papier, cendres...).

-Le compost spécial potager : il contient les mêmes déchets que le compost ménager mais on y ajoute des matières organiques d'origines animales (différents types de fumiers, de la poudre d'os, de corne, du sang). Ces dernières sont enrichies en azote et permettent de mieux structurer le sol.

-Le compost minéralisé : Dans ce type de compost, on ajoute différents déchets d'origine animale et végétale mais on l'enrichit à l'aide de minéraux aux différentes propriétés comme :

- des roches minérales ou algues qui apportent un surplus de calcium pour les terres « acides ».
- des basaltes, ils sont riches en silice et sont très utiles pour les sols très calcaires.

- Les composts 'spéciaux': ils s'adaptent aux milieux qu'ils doivent fertiliser. Ainsi on peut y ajouter des feuilles lorsqu'ils sont destinés aux plantes vertes mais aussi des aiguilles de conifères pour les sols au PH élevé ou les plantes acidophiles (Ansart, 2022).

1.3.2. Recyclage des déchets organique par la mouche soldat noire :

L'idée d'utiliser des larves de mouches pour le traitement des déchets organiques a été proposée il y a près de 100 ans. Depuis lors, de nombreuses études en laboratoire ont montré que plusieurs espèces de mouches sont bien adaptées à la biodégradation des déchets organiques (figure 8) comme la mouche domestique *Musca domestica* L. et la mouche soldat noire *Hermetia illucens* L. étant les insectes les plus étudiés à cet effet.

Avec la mouche soldat noire, la dégradation peut se faire en une période d'une semaine à 14 jours. C'est au stade larvaire de l'insecte que la dégradation se fait quand les œufs pondus éclosent, et donnent naissance à des asticots qui se nourrissent de déchets organiques, (Fourghar et Elmetennani, 2021).

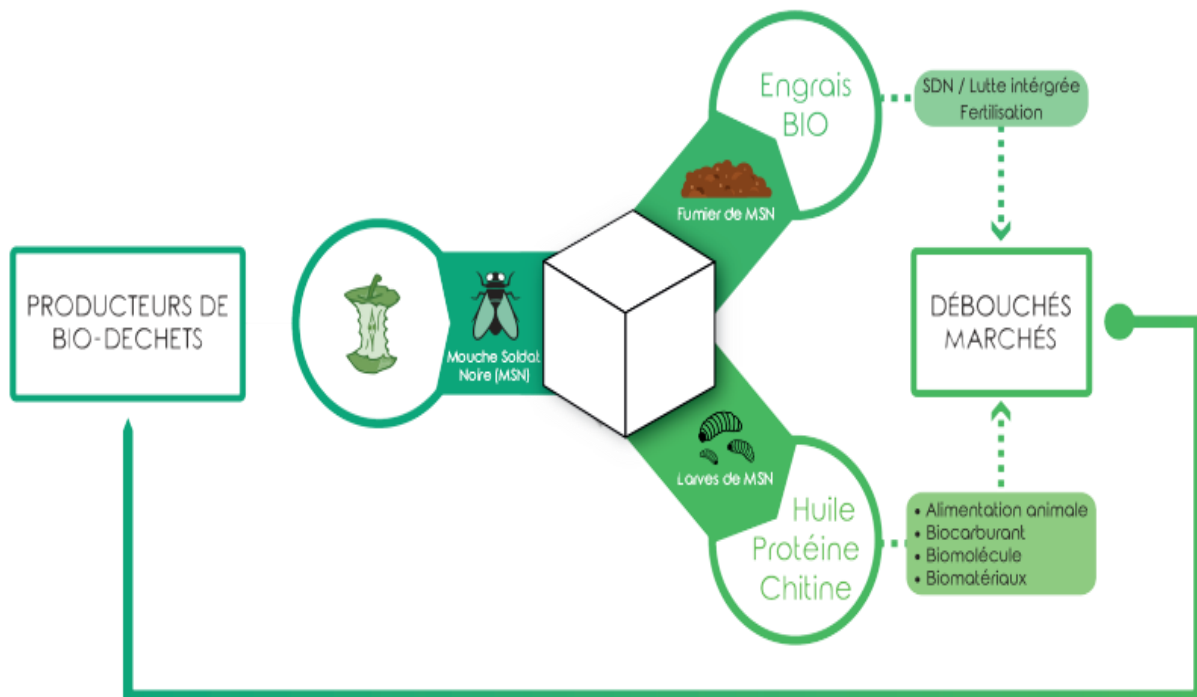


Figure 8 . Recyclage des déchets par la mouche soldat noire.

1.4. Présentation de la mouche soldat noire (BSF) :

1.4.1. Taxonomie:

La mouche soldat noire *Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758) (figure 9), est une espèce d'insectes diptères, de la famille des Stratiomyidae, de la sous-famille des Hermetiinae et du genre *Hermetia* (Wikipidia).



Figure . 9 . *Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758) observé au Marais du Château à Choulex (GE) en mai 2020. (Photo Nicole Petitpierre)

1.4.2. Historique et répartition :

La mouche soldat noire est une espèce originaire des régions tropicales du continent américain. Elle a été signalée en Australie et en Nouvelle Zélande dès 1915, en Afrique et en Asie en 1945, et pour l'Europe en 1926 à Malte, en 1951 en France, en 1962 en Espagne et en 1987 en Suisse.

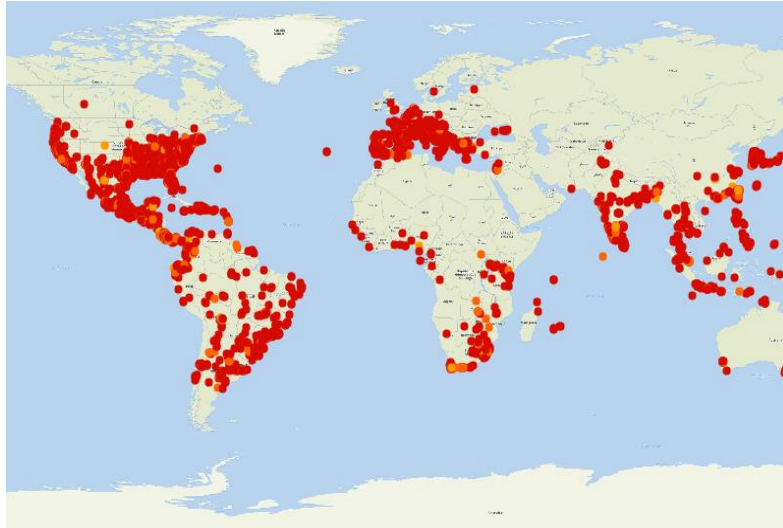


Figure . 10 Répartition de la mouche soldat noire dans le monde.

1.4.3. Caractéristiques morphologiques:

La figure 11 montre les caractéristiques morphologiques des différents stades biologiques de la mouche soldat noire.

L'adulte (A) : La longueur de la mouche adulte est d'environ 15 à 20 mm (les mâles sont plus petits que les femelles). C'est une mouche de grande taille, qui fait penser à un Hyménoptère à cause de ses longues antennes. Le corps est noir brillant, avec deux taches transparentes sur le 2^{ème} tergite. La tête est plus large que le thorax. Les antennes sont aussi longues que le thorax, avec le premier article 3 fois plus long que le deuxième, le dernier article est large et aplati. Les yeux sont fortement tachetés. Les ailes sont sombres. Les pattes sont noires mais les tarses sont clairs, et les tibias postérieurs sont également clairs dans leur moitié basale.

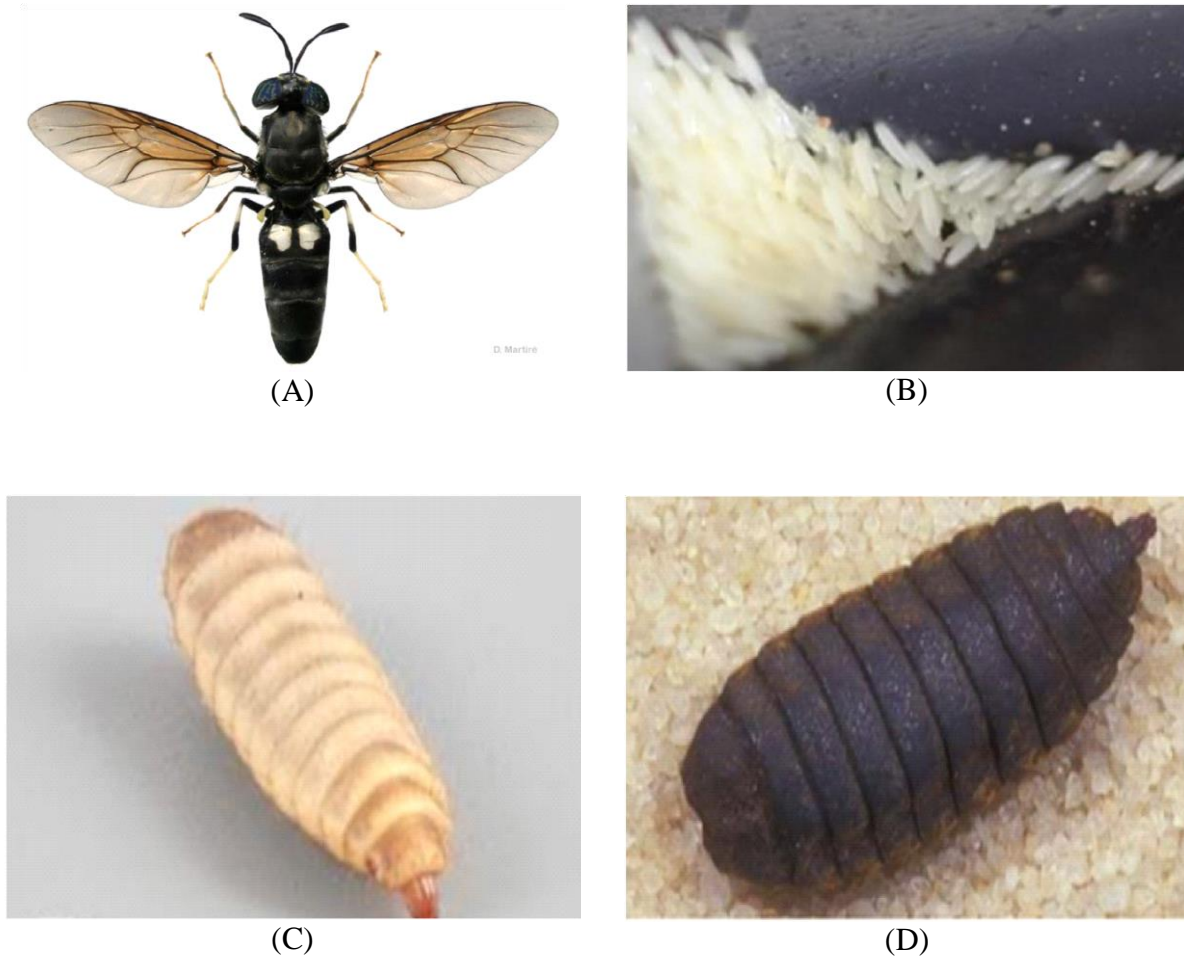


Figure . 11 Stades biologiques de la mouche soldat noire, (google image).

L'œuf (B) est ovale, mesure environ 1mm, est de couleur jaune pâle ou blanc crème.

La larve (C) est de couleur blanche et passera de quelques millimètres à 2.5 cm de longueur.

La pupa (D) est de couleur noire.

1.4.4. Cycle de développement et facteurs limitant :

La mouche soldat noire a un cycle de développement court : il ne faut que 4 semaines pour passer de l'œuf à la mouche adulte.

Les larves ont un régime saprophage et participent activement à l'épuration de leur milieu de développement. L'éclosion des œufs a lieu au bout de 4 jours, la larve à l'éclosion mesure 1,8 mm. C'est un « asticot », une larve apode. En fin de développement, au 6^{ème} stade larvaire, elle atteint 2,5 cm. La nymphose se déroule dans la cuticule de la larve.

Les mouches soldates noires (BSF) sont extrêmement sensibles à leur environnement. Ainsi, leurs conditions d'élevage doivent être surveillées de manière précise pour garantir le taux de croissance le plus élevé. Étant donné que les mouches noires sont une espèce équatoriale et généralement tempérée de saison chaude, leur durée de vie est dictée par la chaleur de leur environnement. Une température de 27 ° C (80,6 ° F) pour les mâles et les femelles semble être idéale pour la croissance et le développement des mouches à différents stades.

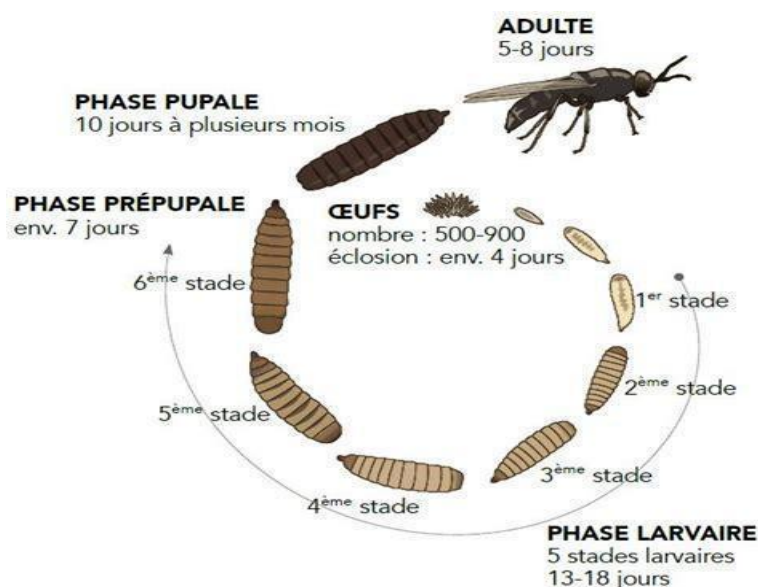


Figure 12 . Cycle de développement de la mouche soldat noire (De Smet et al, 2018).

1.4.5. Alimentation :

La larve de la BSF peut se nourrir de la plupart des déchets organiques (figure 13) même si elle les dégradera plus ou moins. Il est possible de ne leur rajouter de la nourriture que tous les deux à trois jours mais si les larves n'ont plus assez à manger, elles chercheront à s'extraire du bac pour partir à la recherche d'une autre source de déchets, (Erickson, et *al.*, 2004).

Les larves se nourriront surtout avec des déchets peu fibreux (fruits trop mûrs, légumes, certaines feuilles comme le chou...), il n'est donc pas utile de mettre les déchets verts (feuilles, branches, herbe). De même, les peaux de fruits épaisses (banane, orange, citron...) ou les noyaux ne seront pas dégradés complètement. Pour autant, elles gratteront toute la nourriture disponible, (Erickson, et *al.*, 2004). Il est aussi possible de leur donner des déjections animales ou humaines (fientes, toilettes sèches...). Les larves détruisant naturellement les bactéries telles que la salmonelle, il semble possible de pouvoir les donner aux animaux sans risque de transmission.

Les conditions de substrat optimales pour les larves peuvent être résumées ainsi :

Profondeur: Une dizaine cm. S'il y'a plus, les larves iront s'enfouir plus profondément et pourraient ne pas ressortir. S'il y'a moins, celles ci ne pourront pas s'enfouir correctement.

- Nutriments : les substrats riches en protéines et les hydrocarbonates facilement disponibles assurent une bonne croissance larvaire.

Aspect de la nourriture: les larves n'ayant pas d'appareil de mastication, l'accès aux nutriments sera plus facile si le substrat est composé de petits morceaux ou même sous forme liquide ou pâteuse.

Fréquence de remplissage: toujours vérifier que les larves ont assez de nourriture. Si les larves encore blanches (pas encore au stade de pré-nymphes) cherchent à s'extraire cela peut en être la cause.

- Humidité: 80% d'humidité est l'idéal. Si le substrat est trop sec elles ne pourront pas bien assimiler les aliments, s'il est trop humide elles chercheront à sortir vers un endroit plus sec.



Figure 13. Alimentation pour les larves de BSF (Google image).

1.4.6. Importance économique et écologique :

La mouche soldat noire permet un meilleur rendement économique et écologique que l'élevage des autres types d'insectes ainsi que les autres technologies de revalorisation du gaspillage alimentaire, selon Bourbonnais, (2021).

Le traitement des déchets organiques par les larves de la mouche soldat noire permet d'obtenir deux produits commercialisables: du compost et des larves. Contrairement au compost, il existe un grand marché pour les larves fraîches utilisées dans l'alimentation animale. Mais étant donné que le stockage et le transport posent quelques problèmes, les larves séchées sont de plus en plus considérées avec intérêt: elles sont faciles à stocker, à emballer et à transporter et peuvent être vendues à un prix plus élevé. Il est également possible de concevoir un emballage des produits à base de larves séchées attractif pour le client.

2.1. Objectifs de l'étude :

Le but de notre expérimentation est l'étude de l'effet d'un biofertilisant issu d'un élevage de la mouche soldat noir *Hermetia illucens* sur la croissance et le développement de la variété de tomate Saint-pierre *Solanum lycopersicum L.* cultivées sous serre avec deux doses (5g/20g, 5g/40g) en comparaison avec une fertilisation minérale Floratone .

Notre étude a été effectuée à la maison à Koléa, Tipaza pour que nous puissions surveiller le développement des larves en fonction de la nourriture fournie et la croissance des tomates en fonction du compost.

2.2. Elevage de la mouche soldat noire :

2.2.1. Matériel d'élevage :

➤ Dispositif utilisé pour l'élevage des larves de *Hermetia illucens*

Nous avons utilisé pour l'élevage des larves de la mouche soldat, le matériel suivant:

- Trois boîtes en plastique de dimensions 20 x 12 x 10 cm pour diviser les larves en fonction de leur nourriture.
- Un bac en plastique plein de sciure de bois pour récupérer les larves au stade de pupes.
- Des déchets d'origine animale et végétale.
- Une résistance pour avoir une température favorable selon les conditions.
- Une balance pour peser les déchets et le compost obtenu.

➤ Dispositif utilisé pour l'élevage des adultes de *Hermetia illucens* :

Le matériel suivant a été considéré pour l'élevage des adultes :

- Une cage de dimensions 75×75×100 cm que nous avons construit avec des planches en contreplaqué et en bois, 4 mètres de tulle, des punaises. A l'intérieur de cette cage, nous avons installé une lampe pour augmenter la température et avoir une source de lumière (figure 10).
- Une petite boîte avec une éponge humidifiée,
- Des abaisses langue et du carton pour servir de pondoirs,
- Un vaporisateur pour humidifier la cage selon les conditions.



Figure 14 . Volière en bois et bacs en plastique pour l'élevage des mouches soldat noire. (original, 2022)

2.2.2. Origine du matériel biologique :

Le matériel biologique initial est constitué par une population de mouches noires soldat de différents stades biologiques (figure 11) à savoir des jeunes larves (L1, L2, L3) des larves

âgées (L4 et L5) ainsi que des pupes. Nous nous sommes rapprochés d'un producteur expérimenté dans ce domaine de la région de Msila qui nous a livré ce matériel biologique le 20 mars 2022.

Dans un premier temps, nous avons réalisé un élevage de cette population de mouches soldats pour obtenir un déchet organique sous forme de compost.



Figure 15 . Larves de différents stades biologiques de la population initiale de la mouche soldat noir (original, 2022).

2.2.3. Préparation des lots d'élevage:

La population de mouches soldats ramenée initialement et pesant environ 500g, a été répartie en 3 lots de poids similaire. Chaque lot de larves a été déposé dans des boîtes en plastique de dimensions 20 x 12 x 10 cm sans les refermer avec leurs couvercles. Nous avons disposé autour de chaque boîte de la sciure de bois qui servira comme lieu de pupaison pour les larves (figure 15).



Figure 16 . Larves cherchant un lieu de pupaison dans la sciure de bois entourant les boîtes d'élevage, (original, 2022).

2.2.4. Déchets utilisés :

Comme déchet d'origine végétale (figure 16), nous avons utilisé des épluchures de fruits et légumes de préférence mûrs au point de moisir pour faciliter leur consommation.



Figure 17 . Larves de la mouche soldat noire se nourrissant des déchets d'origine végétale (original , 2022).

Pour les déchets d'origine animale (figure 18), nous avons collecté des fientes d'oiseaux, des coquilles d'œufs ainsi que des restes de poulet et ses os après les avoir séchés et broyés (figure 19).



Figure 18. Larves de la mouche soldat noire se nourrissant des déchets d'origine animale (original, 2022).



(A)



(B)

Figure 19 . Coque d'œufs broyée (A) et os broyés (B) (original, 2022).

Les déchets mixtes (figure 20) sont issus du mélange des déchets d'origine animale et ceux d'origine végétale.



Figure 20 . Larves de la mouche soldat noire se nourrissant d'un mélange de déchets (d'origine animal et végétale) (original, 2022).

2.3. Compost obtenu :

Après un mois de développement des larves, et pour une quantité journalière approximative de 10g de déchets bruts apportée aux larves dans chaque boîte, nous avons obtenu différentes quantités (figure 17) de matières dégradées à savoir :

- 56 g de compost produit par les larves qui ont consommé des déchets d'origine animale.
- 40 g de compost produit par les larves qui ont consommé des déchets d'origine végétale.
- Et 70g de compost produit par les larves qui ont consommé des déchets issus du mélange.

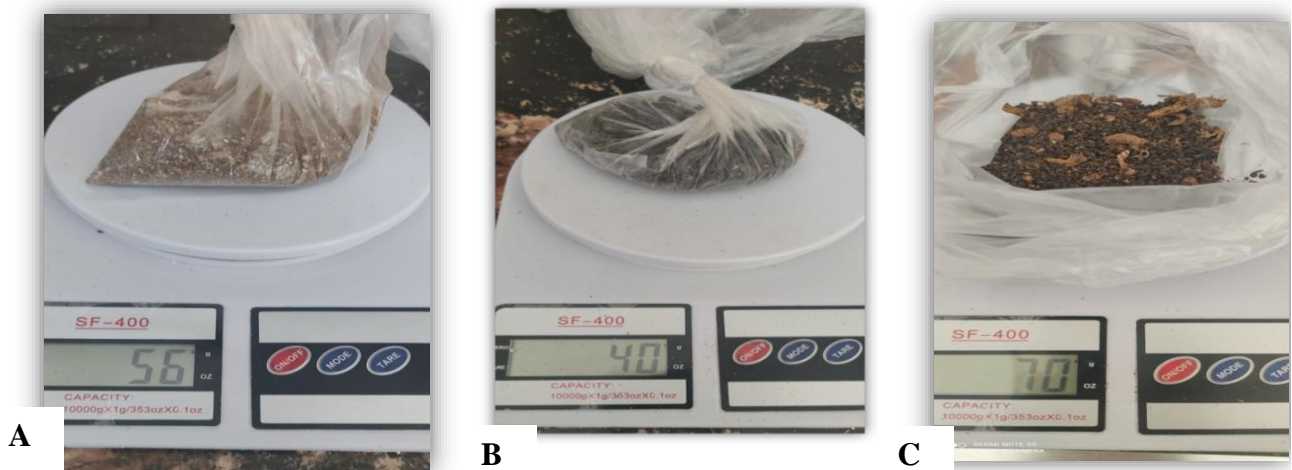


Figure 11 . Quantités de compost obtenu après un mois à travers l'élevage des larves de la mouche soldatA : compost d'origine animale, B : compost d'origine végétale, C : compost mixte,(original, 2022).

2.4. Etude de développement de la mouche soldat noire en relation avec le type de substrat nutritif :

Pour étudier l'effet du type de substrat nutritif sur la croissance des larves de la mouche soldat, nous avons réalisé un élevage des descendances issues de la population initiale pour obtenir des larves de même stade larvaire

2.4.1. Elevage des mouches de la population initiale :

Après avoir atteint la phase pupale, les larves ont été collectées puis placées dans une autre boîte que nous avons disposée dans la volière. Quand la mouche est libérée de sa puppe, elle ne se focalisera que sur son accouplement, qui commencera deux jours après sa pupation.

Deux jours supplémentaires sont nécessaires pour que la femelle pondre ses œufs dans un lieu proche d'une source de nourriture. Pour cela, en nous référant à la littérature, nous avons utilisé une nourriture à base de poudre de noix de coco et de pulpe de banane en raison de leurs odeurs attractives particulièrement appréciées par les mouches.

Pour observer les pontes, nous avons utilisé des pondoires de deux types différents. Le premier type de pondoire a été confectionné avec des abaisses langue. Nous avons formé un rectangle avec les abaisses langue en laissant un espace de 2 mm entre eux et nous les avons attachés avec des élastiques. De cette sorte, les femelles vont pondre entre deux planchettes pour y déposer un amas de plusieurs centaines d'œufs.



Figure 22 . Construction d'un pondoire avec des abaisses langue, (original, 2022)

Nous avons utilisé des morceaux découpés de carton d'emballage comme deuxième type de pondoir. Nous les avons superposé de sorte à laisser visibles et accessibles les alvéoles (trous) du carton.

2.4.2. Etude de la durée de développement des larves issues de la population initiale en fonction de leur alimentation :

Le même protocole d'élevage de la population larvaire initiale a été considéré pour l'étude de la durée de développement de la descendance en relation avec les trois différents substrats nutritifs.

Après une dizaine de jours après l'éclosion des œufs, un nombre de 20 larves a été utilisé par substrat. La taille des larves a été mesurée à l'aide d'un papier millimétré du mi juillet à début août (15/7, 27/7, 30/7, 3/8) à raison de 3 individus par lot de substrat nutritif.



Figure 23 . Boite contenant 20 larves âgées de 10 jours après l'éclosion (original, 2022).

2.4.3. Etude de l'effet des composts issus de l'élevage de la mouche soldat noire sur la germination et la croissance de la tomate :

2.4.3.1. Matériels utilisés :

Pour la préparation des semis, nous avons utilisé du coton, du papier absorbant, un vaporisateur manuel d'une contenance de un litre, de la semence de tomate de la variété 'Saint Pierre', des boites en plastique (figure 20).



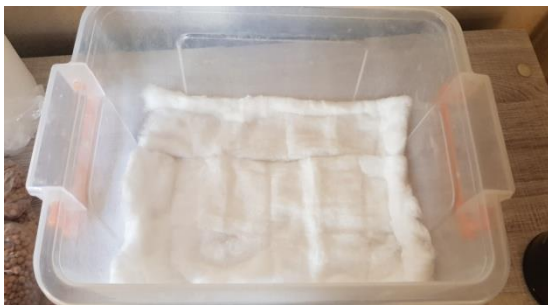
Figure 24 . Matériel utilisé pour la préparation du semis et du repiquage de la tomate (original,2022).

Pour le repiquage des graines germées, nous avons utilisé de la tourbe, du sol brun, du sable et 4 plaquettes à alvéoles.

2.4.3.2. Méthodologies :

a. -Préparation des semis (figure 25) :

Tout d'abord, on dépose le coton puis le papier absorbant dans une boîte en plastique.(A) et (B). On dépose les graines de tomate (C) sur le dessus, on place un papier absorbant humidifié (D), puis on dépose la boîte devant une source de chaleur.



(A)



(B)



(C)



(D)



(E)



(F)

Figure 25 . Etapes suivies pour la préparation du semis et du repiquage de la tomate (original, 2022).

b. -Repiquage en plaques à alvéoles (figure 25) :

Six jours après la germination, lorsque la longueur des plants sa atteint 4 cm, on les repique dans les plaques à alvéoles dans de la tourbe. Les racines des plants au fond du trou puis on a tassé la terre et arrosé le plant légèrement avec un vaporisateur. Les plants sont laissés à l'abri de la lumière pendant 24heures pour éviter les chocs de transplantation, ensuite ils sont déposés près d'une source de lumière.

c. Apports en compost :

Dès que les plantules de tomate ont 4 feuilles (figure 22 a), nous les avons repiqué dans des pots contenant un mélange de sable, de sol brun et de tourbe (1/3 v,v,v). Les différents apports (composts et régulateur de croissance) ont été appliqués le 30 juin.



(a)



Figure 26. Etapes de préparation du sol pour le repiquage (a et b) et intrants utilisés pour l'étude de la croissance de la tomate : c) composts d'origine animale, végétale et mixte, issus de l'élevage de *H. illucens*, substance de croissance 'Floratone' (original, 2022).

Avant d'incorporer les différents intrants (figure 26 c), nous préparons le mélange de sol (sol brun + sable + tourbe) qui servira de substrat aux plantules de tomate. Pour éviter le développement de microorganismes et de parasites, nous avons pulvérisé le substrat de sol avec une préparation biopesticide (figure 27).

d. Traitement biopesticide :

Nous avons mélangé très finement 100g d'ail frais auxquels nous avons rajouté 100 ml d'huile d'olive. Le mélange est laissé macérer pendant 12 heures puis pressé en additionnant un peu d'eau à travers une passoire afin d'obtenir un filtrat homogène. Le macérat brut obtenu est mis dans un flacon et maintenu à l'abri de la lumière, à température ambiante.

Nous avons dilué 100ml de ce phytoextrait dans 2 litres d'eau courante puis on y a ajouté du savon noir naturel à base de menthe (la menthe éloigne les insectes et stimule la croissance). Puis, nous avons pulvérisé le mélange à l'aide d'un pulvérisateur manuel sur les feuilles des plants de tomate afin d'éviter toute infestation parasitaire.

D'après la littérature, l'ail protège en effet les plants de tomate des maladies cryptogamiques. Il est également réputé en traitement naturel pour éviter la fonte des semis.



Figure 27 . Préparation du traitement biopesticide à base d'ail (original, 2022).

2.4.3.3. Réalisation des bioessais

Un total de 5 lots de gobelets en plastique à raison de 10 gobelets par lot contenant chacun 20 g de substrat de sol et 1 plantule de tomate ont été préparés. Trois lots correspondent aux plants avec les apports en compost respectivement d'origine animale, végétale et mixte. Les deux autres lots correspondent à des plants sans apports en fertilisants (lot témoin) et aux plants ayant reçu un apport en régulateur de croissance 'Floratone' préalablement préparé à raison de 0,6 g dans 1 Litre d'eau. Les différents plants sont arrosés d'eau courante à l'aide d'un pulvérisateur manuel, tous les 2 à 3 jours selon le besoin et la température ambiante au laboratoire.

Dans un premier essai, une quantité de 5g de chaque compost a été utilisé dans 20 g de mélange de sol puis les plants de tomate ont été repiqués dans les gobelets. Cet essai a conduit au dépérissement de tous les plants au bout de 2 jours.

Dans un deuxième essai, la même quantité de compost (5g) a été mélangée dans 40g de mélange des sols. FLORATONE (Sachet de 60g/hl) est une substance de croissance de la famille des auxines. Cette substance intervient dans le métabolisme de la plante en agissant sur la multiplication cellulaire par interaction avec les substances de croissance naturelle. Elle agit sur la modification du niveau de nouaison. C'est un stimulateur efficace de la rhizogénèse, elle atténue les risques de gelée et de sécheresse. Elle est utilisée pour les cultures maraîchères, les arbres fruitiers, les plantes en pépinière et la vigne.

2.4.4. Paramètres étudiés:

2.4.4.1. Suivi de l'émergence des adultes issus de la population larvaire initiale

Au début de notre expérimentation et tenant compte des mortalités larvaires observées dans les lots avec chaque différent substrat de déchets, la population initiale restante de la mouche soldat noire a été nourrie avec un mélange de déchets. Les émergences des mouches issues de cette population ont été suivies sur une période approximative de trois mois répartie respectivement en deux phases en relation avec la disponibilité des individus. La première phase comprend 7 semaines du 11 avril au 23 mai soit un mois et 20 jours et la deuxième phase s'est déroulée sur 5 semaines soit un mois et 7 jours, du 30 mai au 27 juin. Durant chaque phase de suivi, les températures étaient différentes : entre 19°C et 22°C en moyenne durant la 1^e phase de suivi et entre 22°C et 33°C en moyenne durant la 2^e période de suivi. Le nombre d'adultes apparus et morts dans la cage d'élevage a été compté quotidiennement.

2.4.4.2. Suivi de l'émergence des adultes issus de la population larvaire de la descendance selon le substrat nutritif

Le suivi de l'émergence des adultes issus de la population larvaire de la descendance a été entamé lorsque les larves (n= 20 individus par substrat nutritif) ont atteint le 5^e stade larvaire. Il a été effectué quotidiennement sur une durée hebdomadaire du 9 août au 15 août 2022. La comparaison des moyennes de pourcentages d'émergence sous l'effet des facteurs temps et intrant a été analysée à travers une ANOVA suivie du test Post Hoc de Tukey (Systat, version 12).

2.4.4.3. Effet des intrants biologiques sur la croissance en hauteur des plants de tomate :

L'observation de la croissance des plantules de tomate selon l'effet des différents intrants biologiques a été réalisée sur une durée de 6 semaines. Nous avons mesuré les hauteurs (cm) des plants à l'aide d'un pied à coulisse. Les moyennes des hauteurs moyennes ont été comparées en tenant compte de l'effet du facteur (intrant, temps) seul (ANOVA, modèle linéaire global, Systat vers.12). Le test de comparaisons multiples (test de tukey au seuil $\alpha = 5\%$) a été utilisé lorsque l'ANOVA indiquait une différence significative ($\alpha < 0,05$) de l'effet d'un facteur donné.

Résultats

3.1. Suivi de l'émergence des mouches adultes à partir de la population initiale

Les figures 28, 29 et 30 montrent quelques résultats de nos observations, respectivement l'émergence des adultes de la mouche soldat noire à partir des pupes, l'accouplement avec une tentative de ponte d'une femelle au niveau des baisses langue ainsi que l'aspect des œufs pondus au niveau des deux types de pendoirs.

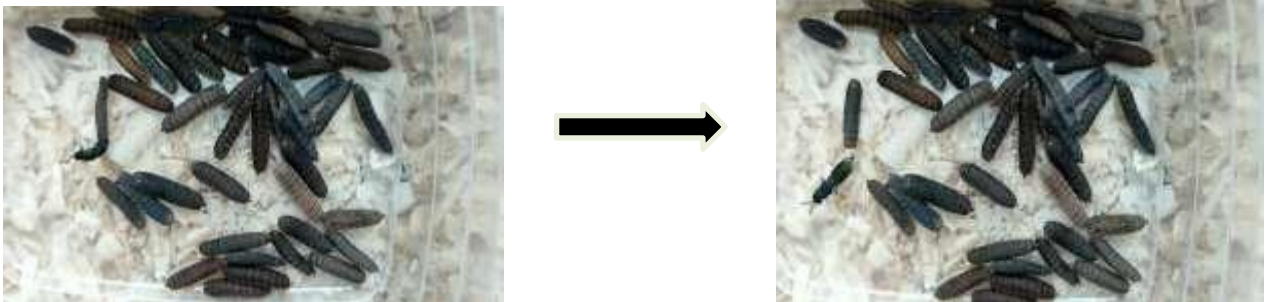


Figure 28. Emergence des adultes de la mouche soldat noir (original, 2022).

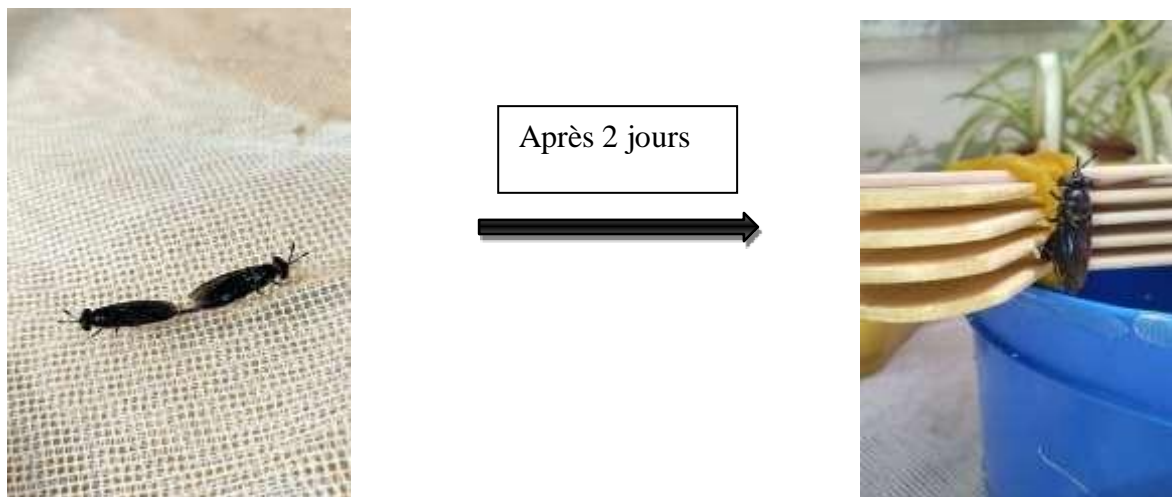


Figure 29. Accouplement et ponte des mouches soldat noir (original, 2022).

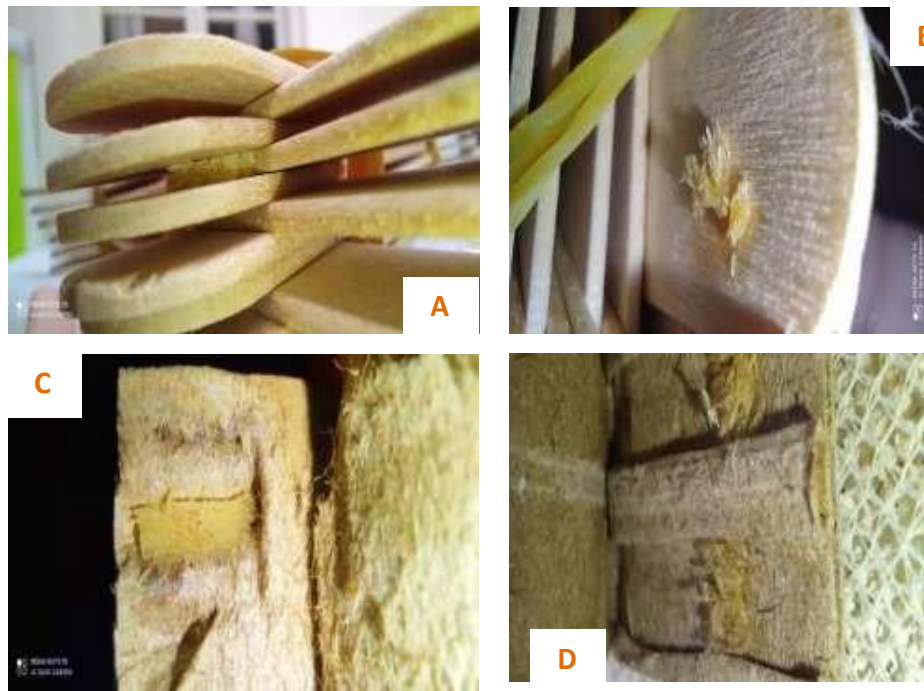


Figure 30 . Aspect des pontes de la mouche soldat noire dans les pondoirs en abaisse langue(A et B) et les alvéoles des morceaux de cartons d’emballage, (Original, 2022).

Nous avons comptabilisé le cumul des individus pour chaque phase de suivi. La variation du nombre cumulé de mouches émergées et de mouches mortes est représentée sur la figure 31

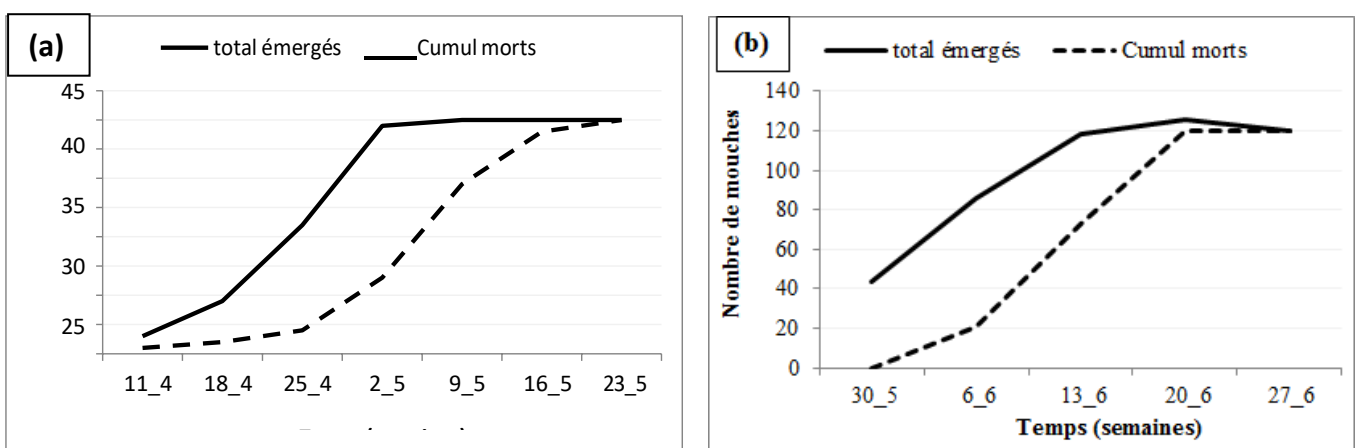


Figure 31 . Variation des émergences et des mortalités des individus de la mouche soldat noire dans les conditions semi naturelles durant la période avril-juin 2022.

Le 1^{er} lot expérimental des émergences observé, montre une augmentation de la sortie des adultes dès la 2^e semaine (18 avril). Le nombre maximal de mouches apparues (40 individus) est enregistré vers la 4^e semaine du suivi (2 mai) puis ce nombre se stabilise jusqu'à l'épuisement des émergences noté à la fin de mai (figure 31 a). Le 2^e lot expérimental observé provient d'une autre population larvaire qui a continué son développement en avril mai. Dans ce lot, le nombre de mouches apparues est beaucoup plus important (figure 31b) vraisemblablement en raison de la hausse des températures au mois de juin. Le maximum de mouches est noté après 4 semaines au cours de ce mois puis il se stabilise également.

Les mortalités des adultes sont cependant importantes et rapides dans les deux lots d'émergence (figure 31 a et b).

3.2. Suivi de l'émergence des adultes issus de la population larvaire de la descendance selon le substrat nutritif

Nous avons considéré la 2^e génération de mouches soldat noire issue des pontes des mouches émergées à partir de la population initiale. Les 1^{ères} pontes ont eu lieu le 27 juin et les éclosions ont débuté le 30 juin. Le développement des larves sur les trois substrats a été réalisé entre le 30 juin et le 9 août 2022 date à laquelle les 1^{ers} adultes sont apparus. L'émergence des mouches s'est poursuivi jusqu'au 15 août. La durée moyenne du développement des mouches depuis l'éclosion jusqu'à la fin des émergences est mentionnée dans le tableau 1.

Tableau 1 Durée en jours du développement de la mouche soldat noire en conditions semi naturelles selon la nourriture attribuée.

Type de compost	Durée de développement (jrs)	Moyenne (jrs)
Compost Mixte	39-44	41,5 ± 3,53
Compost d'origine Animale	39-44	41,5 ± 3,53
Compost d'origine végétale	40-45	42,5 ± 3,53

On constate que le développement des mouches ne semble pas influencé par l'alimentation et le type de compost. Relativement plus long sous l'effet du compost d'origine végétale, il varie

en moyenne entre 41,5 jours et 42,5 jours avec un écart de 3,5 jours d’après nos observations durant la période de suivi (tableau 1).

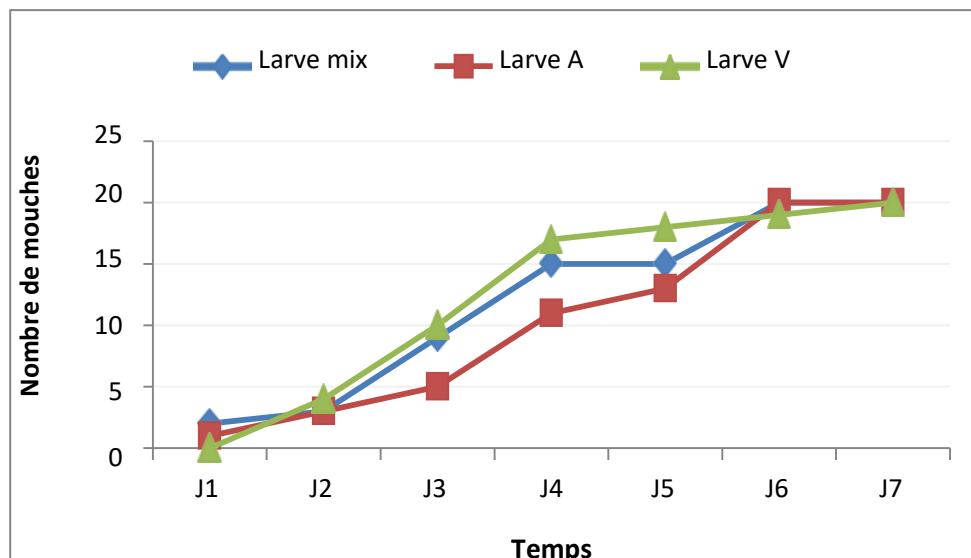
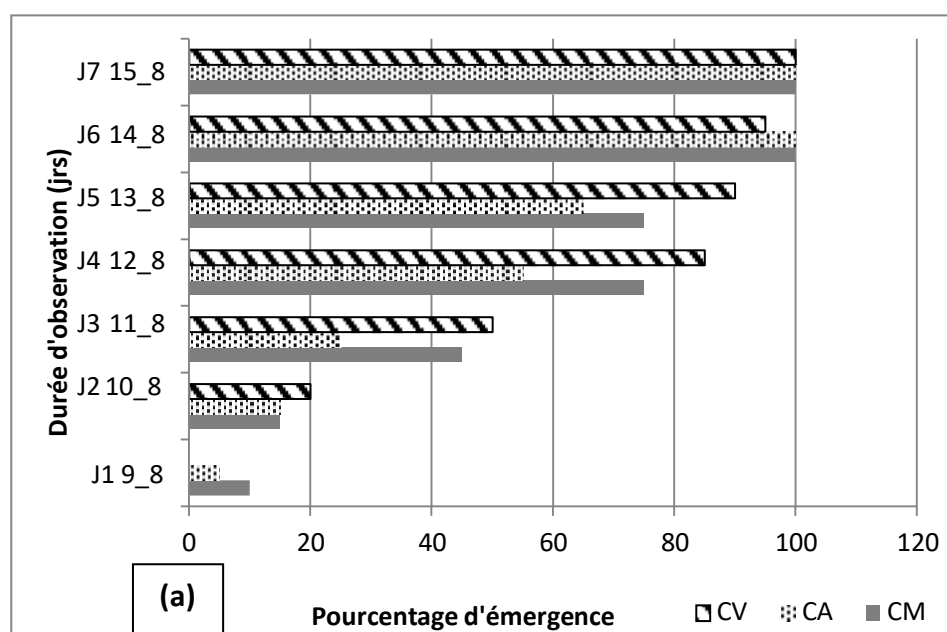


Figure 32 . Evolution des émergences des mouches de seconde génération en fonction de la nourriture.

De manière générale, le nombre de mouches apparues est graduel, il augmente rapidement avec le temps en particulier du 3^e au 5^e jour, quelque soit la nourriture attribuée. Entre le 1^{er} et le 2^e jour, les émergences sont faibles (0 à 4 individus), alors qu’au bout du 6^e et 7^e jour, elles ont atteint le maximum c’est-à-dire 20 mouches, (figure 32). On note aussi que l’effet de l’alimentation à base de déchets végétaux est légèrement supérieur à celui des deux autres types de déchets. A partir du 12 août, les pourcentages d’émergence des mouches dont les larves se sont alimentées de déchets végétaux, dépassent les 80% (figure 33).



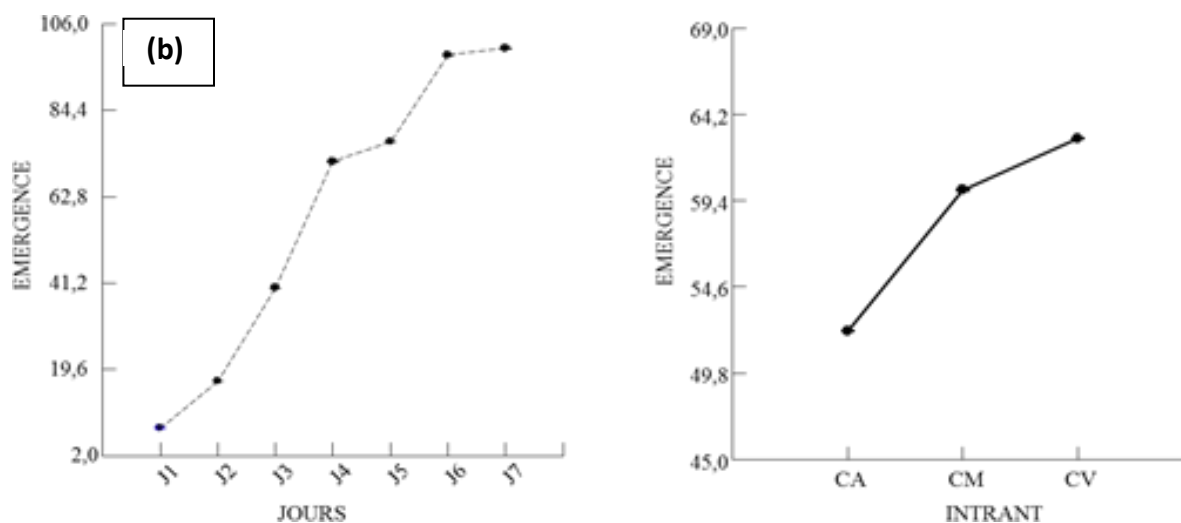


Figure 33. Variation des taux d'émergence de la mouche soldat noire en fonction du temps (mois d'août) et du substrat nutritif (ANOVA, GLM, Systat vers.12).

Les résultats de l'analyse de la variance (modèle global linéaire) montrent une différence très hautement significative de l'effet du facteur temps (figure 29 a et b) ($F=66,94$, $P < 0,0001$) mais pas de l'effet du facteur intrant (figure 33 b) ($F=3,29$, $P=0,07$ différence non significative).

Par ailleurs la taille moyenne ($n=3$ individus) des larves de la 2^e génération évoluant pendant la période estivale entre le 15 juillet et le 3 août et nourries avec les trois types de déchets, semble similaire (tableaux 2 et 3). Notons que les asticots mesurent 0,7mm après 1 jour de l'éclosion, puis 9mm en moyenne au bout de 10 jours (tableau 2).

Au 15 juillet, elle varie en moyenne de 10,67 mm à 11,33 mm respectivement sous l'effet de l'alimentation à base de déchets végétaux et celle à base des déchets animaux et du mélange. A la fin de juillet (après 12 jours), la taille des larves double quelque soit leur alimentation.

Tableau 2 Tailles (mm) des larves de la mouche soldat noire durant leur développement sous l'effet des différents déchets (CA : compost d'origine animale, CV : compost d'origine végétal, CM : compost mixte).
















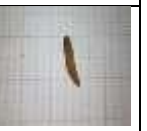













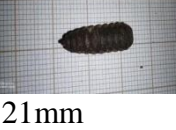

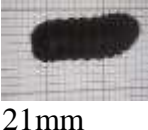


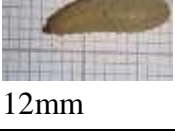

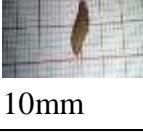



Date	Taille			Date	Taille		
01 juillet 1 jour après éclosion	 0,7 mm			31 juillet CM	 20 mm	 20mm	 21mm
10 juillet	 8 mm	 12mm	 7mm	3 aout CM	 20mm	 18mm	 18mm
15 juillet CV	 10mm	 10mm	 12mm	15 juillet CA	 12mm	 10 mm	 12mm
27 juillet CV	 21mm	 19mm	 20mm	27 juillet CA	 22mm	 19mm	 21mm
31 juillet CV	 21mm	 23mm	 22mm	27 juillet CA	 23mm	 22mm	 24mm
3 aout CV	 22mm	 21mm	 22mm	31 juillet CA	 21mm	 22mm	 20mm
15 juillet CM	 12mm	 12mm	 10mm	3 aout CA	 20mm	 22mm	 21mm

Tableau 3 Evolution des tailles moyennes (mm) des larves de la mouche soldat noire.

Temps	compost végétal	compost animal	compost mixte
15-juil	10,67 mm ± 1,15	11,33 mm ± 1,15	11,33 mm ± 1,15
27-juil	20 mm ± 1,00	20,67 mm ± 1,52	23 mm ± 1,00
31-juil	20,33 mm ± 0,57	22 mm ± 1,00	21 mm ± 1,00
03-août	18,67 mm ± 1,15	21,67 mm ± 0,57	21 mm ± 1,00

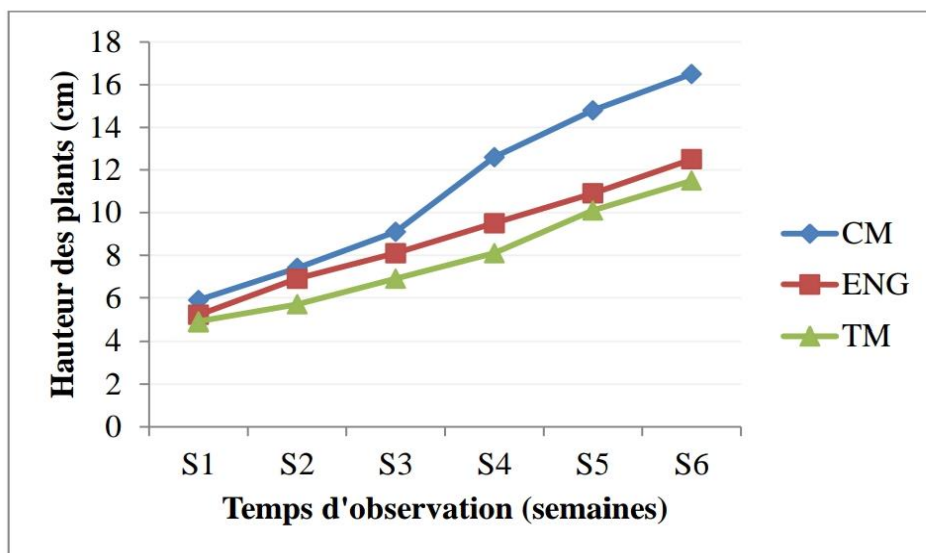
3.3. Croissance de la tomate en relation avec les apports des digérats larvaires

Le taux de la germination de la tomate Saint Pierre est de 85%. Dans les conditions de notre expérimentation, la germination (figure 34) s’est déroulée en 6 jours.



Figure 34. Germination des tomates variété « Saint Pierre » au laboratoire (original, 2022)

Les quantités de composts ont été incorporés et mélangés au substrat sol et les plantules de tomate sont repiquées au stade 4 feuilles. L’évolution temporelle de la hauteur moyenne des plants est indiquée sur la figure 34 .



(a)

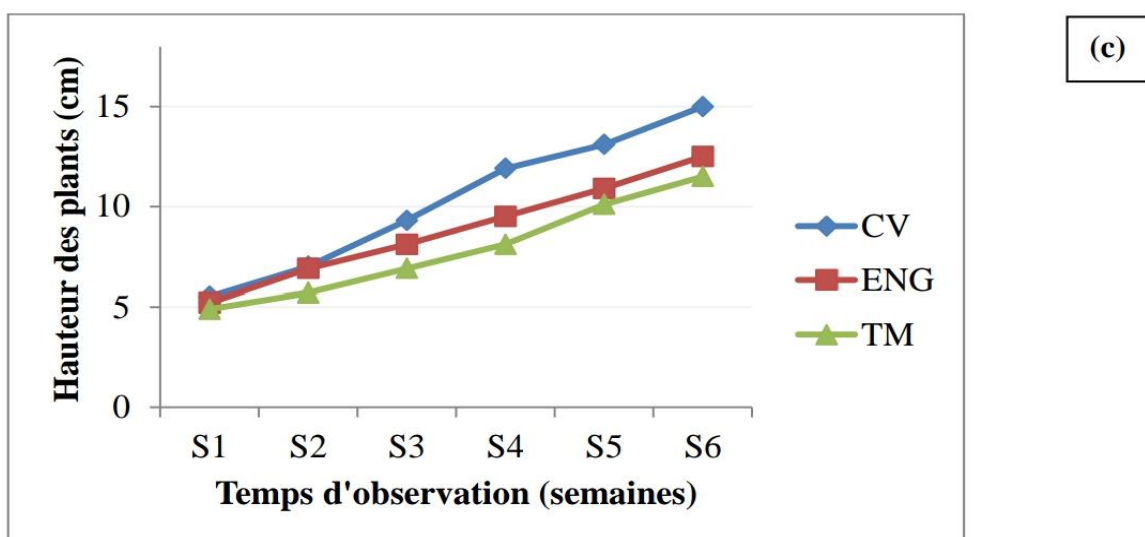
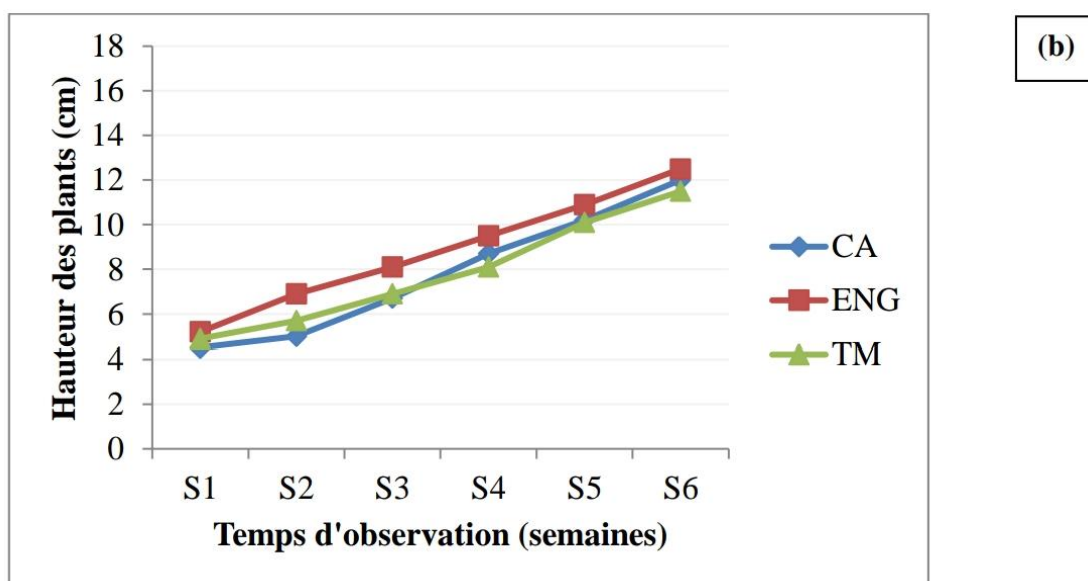


Figure 35. Variation temporelle des hauteurs moyennes des plants de tomate sous l'effet comparé des trois types de compost (CM, CV et CA) avec l'apport en régulateur de croissance (ENG) et le témoin.

L'effet sur la croissance de l'apport en digérat issu de l'alimentation à base d'un mélange de déchets se démarque de celui des autres apports : l'effet du compost végétal suivi par l'effet de la Fortolone et du compost animal en comparaison avec la hauteur notée chez les plants témoins non fertilisés (figure 34).

Chaque type d'intrant a été comparé plus particulièrement avec le témoin et le

régulateur de croissance (figure 34). Le compost mixte a induit un meilleur effet sur la croissance des plants de tomate. Le compost animal et la Fortolone n'ont pas eu d'effet sur la croissance car les

hauteurs des plants étaient similaires. Le compost végétal a conduit à un effet plus marqué mais inférieur à celui du compost mixte (figure 30, a, b, et c).

La comparaison des moyennes des hauteurs a montré une différence très hautement significative du facteur temps ($F= 84,822$, $p=0,000$) et du facteur intrant ($F= 20,636$, $p=0,000$) (tableau 4).

Les comparaisons multiples sur le facteur temps (test post hoc de Tukey) ont montré des différences significatives à très hautement significatives entre les hauteurs enregistrées à la 1^{ère} semaine de suivi et et le reste des semaines.

Tableau 4. Résultats de l'ANOVA (Modèle linéaire global) relatifs à la comparaison des moyennes des taux d'émergence temporelle de la mouche soldat noire sous l'effet des trois intrants utilisés.

Source	Type III SS	df	Mean Squares	F-ratio	p-value
Temps	257,534	5	51,507	84,822	0,000 ***
Intrant	50,123	4	12,531	20,636	0,000 ***
Erreur	12,145	20	0,607		

La figure 36. montre les différences des hauteurs des plants de tomate observées sous l'effet des trois intrants comparés à ceux de la Fortolone et au témoins avant et après incorporation.

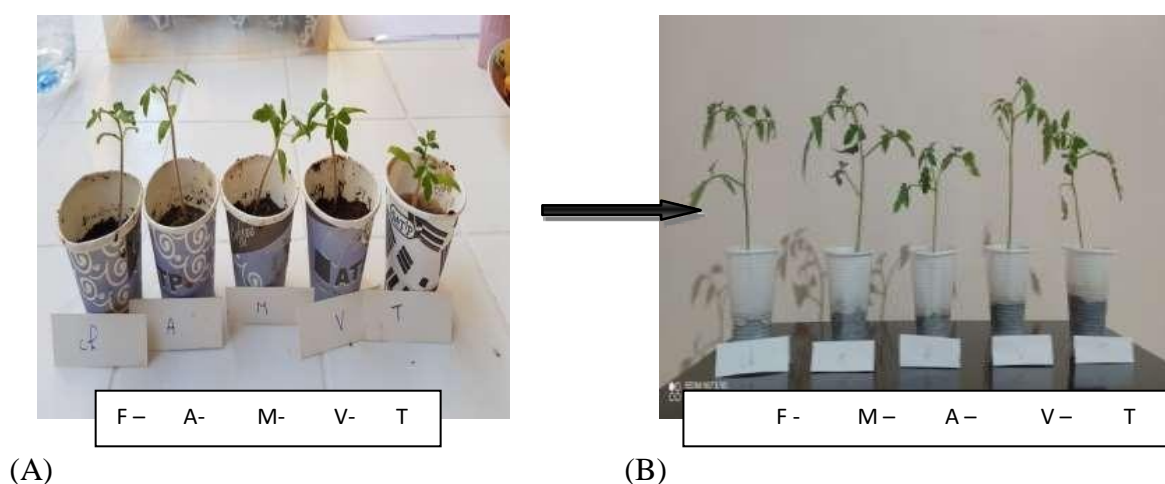


Figure 36 . Aspect de la croissance en hauteur des plants de tomate avant (A) et après incorporation des différents déchets.

Discussion générale

Deux objectifs étaient visés dans le présent travail : d'abord la production de pré-pupes et de mouches soldat noire à travers l'élevage au moyen de déchets de trois origines différentes (végétale, animale et mixte) et l'incorporation des digestats larvaires à base de cette alimentation afin d'évaluer leur effet sur la croissance en hauteur de plantules de tomate.

Les tomates (*Solanum lycopersicum* L.) sont en effet hautement nutritives et riches en vitamines A, B et C, ainsi qu'en lycopène, un antioxydant lié à une réduction des maladies

La mouche soldat noire est une espèce détritivore possédant un large spectre alimentaire. Elle se nourrit préférentiellement de résidus organiques humides (Chikou, 2006). Des études récentes ont rapporté une amélioration de la croissance des cultures, du rendement, de l'absorption des nutriments, de l'efficacité de l'utilisation de l'azote et de la suppression des maladies chez différentes plantes cultivées en utilisant du BSF composté. L'adoption d'engrais de haute qualité, tels que l'engrais organique composté BSF, permettrait de réduire l'utilisation d'engrais minéraux coûteux et par conséquent l'utilisation d'engrais minéraux coûteux et de réduire le fardeau de la pollution environnementale.

Les digestats larvaires obtenus après un mois d'élevage et testés dans notre expérimentation ont permis de mettre en évidence l'effet marqué du compost mixte comparativement aux autres intrants (compost animal, régulateur de croissance) et le témoin sur la croissance en hauteur des plants. L'effet du compost végétal issu de l'alimentation des larves a produit des plants moins hauts.

L'engrais à base de digestats de la mouche soldat noire (MBS) (*Hermetia illucens* L.) est un sous-produit de la bioconversion des déchets organiques à l'aide de larves de MBS en un engrais organique riche en nutriments et hygiénique (Lalander et al., 2016). Contrairement au processus de compostage conventionnel, qui prend 8 à 24 semaines, le compostage assisté par BSF ne prend que 5 semaines pour convertir les déchets organiques en un engrais organique mature et stable (Beesigamukama et al., 2021). L'efficacité élevée de la bioconversion du BSF pourrait être en partie attribuée à l'efficacité élevée de la réduction des déchets (65-79%) (Diener et al., 2011) et à la grande abondance et diversité des décomposeurs microbiens associés aux larves de BSF (Vogel et al., 2018).

L'application unique de BSF compostée en tant qu'engrais organique ou son intégration avec des engrais NPK permet d'améliorer la croissance, le rendement et la qualité nutritionnelle de manière similaire ou supérieure aux engrais organiques et minéraux commerciaux. D'après Anyega et al. (2021), un taux d'application de 2,5 t ha⁻¹ de BSF ou l'application combinée de 1,24 t/ha d'engrais organique composté BSF avec 322 kg/ha de NPK est recommandé pour améliorer la production la production de tomates..

Addeao et *al.*, (2021) ont élevé des larves d'*Hermetia illucens* (âgées de cinq jours) avec des aliments pour poulets de chair (régime témoin), un régime végétal, un régime à 50 % végétal + 50 % de déchets de boucherie, et un régime à 75 % végétal + 25 % de déchets de boucherie pour évaluer leur adéquation.

Ces auteurs ont remarqué que les larves nourries avec un régime végétal ont montré les plus faible poids, longueur, épaisseur et taux de croissance, mais elles avaient présenté un faible taux de mortalité, un indice de réduction du substrat et un taux de conversion des protéines élevés. Ces larves avaient un taux de protéines similaire et un taux de lipides inférieur à celui des larves témoins. Tandis que les larves nourries avec un régime mixte contenaient plus de lipides et moins de protéines que les autres. Ces observations corroborent les résultats que nous avons obtenu.

Addeao et *al.*, (2021) recommandent donc l'utilisation de déchets de boucherie combinés à des ingrédients végétaux comme alternative appropriée pour équilibrer le niveau élevé de lipides et la faible teneur en protéines.

D'autre part, l'alimentation fournie pour l'élevage des larves a induit une bonne croissance des larves et une meilleure émergence des adultes aux températures saisonnières estivales (juin 2022 température variant entre 22 et 33°C)

La croissance des larves de la mouche soldat noire suggère une influence de la nature et de la quantité du coproduit ingéré (Gougbeji et *al.*, 2020). Ainsi les larves élevées avec la provende de poulet atteignent plus vite le stade pré-pupal. Le substrat à base de son de maïs et d'abats de poisson favorisait une croissance optimale des larves d'après ces auteurs. Mais, le régime à base de tourteau de coton a induit une forte mortalité larvaire ($67,33 \pm 3,96\%$) (Gougbeji et *al.*, 2020).

Ainsi les coproduits agricoles non farineux ou extrêmement fibreux doivent être homogénéisés afin d'optimiser l'élevage larvaire.

Durant notre expérimentation, nous avons assisté à des mortalités imaginale. Ceci peut être due à la température extérieure puis que le suivi des émergences

a été surtout conduit en juillet août. La présence d'un facteur antinutritionnel pourrait également expliquer ces mortalités. Par exemple pour les déchets d'origine végétale, les protéines végétales se caractérisent par une teneur élevée en fibres brutes et un profil d'acides aminés déséquilibré (Francis et *al.*, 2001) des carences en acides gras longs polyinsaturés (AGLPIs), ce qui peut provoquer une mauvaise appétence chez les larves (Gomes et *al.*, 1995). Les larves de la mouche-soldat noire ne se développent que dans les milieux dont le taux d'humidité est de l'ordre de 60-70 %. La texture du substrat influence par ailleurs fortement la vitesse de croissance et le taux de survie des larves de *H. illucens* (Makkar et *al.*, 2014 ; Henry et *al.*, 2015).

Selon Chiam et *al.*, (2021), les larves de BSF élevées sur un régime d'okara (pulpe de soja) pur ont atteint une réduction de 85% du poids frais de l'okara. Par la suite, l'herbe a été mélangée à de la terre à des concentrations de 10, 20 et 30 % (vol/vol) et utilisée pour cultiver des plants de laitue. À la concentration de 10 %, les plantes de laitue avaient des biomasses comparables à celles des témoins. Des concentrations plus élevées d'excréments ont retardé la croissance de la laitue, probablement en raison du faible rapport C:N de l'excrément des larves résultant de la rapidité de la croissance des digestats larvaires résultant de la minéralisation rapide des nutriments. Aussi, les analyses de la communauté microbienne de tous les milieux de croissance ont montré que les traitements de milieu de croissance avec la sciure de larve de BSF avaient tendance à avoir un nombre plus faible d'espèces microbiennes que les témoins.

L'engrais développé à partir de digestats de larves de la mouche soldat noire nourries avec des déchets végétaux a été testé en serre sur trois types de sol et deux cultures: le ray-grass et la laitue (Kebli et Sinaj 2017). Cet engrais a donné les meilleurs résultats sur le sol ayant la plus faible fertilité (sol acide et sableux) et sur lequel le ray-grass et la laitue ont produit autant de biomasse avec l'engrais BSF qu'avec des engrais minéraux. En effet, ce bioproduit serait une source importante de matière organique et de macroéléments (N, P, K) ainsi que de microéléments comme le Zn et le Cu et ses teneurs en éléments traces métalliques (ETM) restent en dessous des seuils maximaux autorisés.

Conclusion et perspectives

Ce travail s'inscrit dans le cadre des approches raisonnées de l'utilisation des intrants biologiques pour l'optimisation de la qualité des rendements, et la protection des cultures.

Outre l'utilisation des amendements organiques pour améliorer la fertilité des sols, une tendance se dégage de plus en plus actuellement pour le choix des insectes diptères en raison de leurs aptitudes reconnues pour la bioconversion des déchets.

Les résultats préliminaires avancés dans la présente étude ont permis de montrer l'importance de la mouche soldat noire en tant qu'espèce détritivore dont les digestats font office de matière organique biofertilisante. Quoique l'élevage de *H. illucens* exige une connaissance des matières disponibles pour constituer son substrat de vie, il est important de sélectionner ces ressources sur la base de leur disponibilité et de leur potentiel nutritif.

A travers les essais d'élevage réalisés au laboratoire et en conditions semi naturelles, nous avons mis en évidence une meilleure capacité des déchets fournis en mélange pour produire des prépuces et des mouches soldat noire. Trois types de composts différents ont été obtenus après 4 semaines d'élevage de la population initiale. Ces intrants biologiques apportés comme alimentation aux larves issues de la génération parentale ont permis d'observer un développement d'une durée de 41,5 à 42,5 jours en moyenne avec des taux d'émergence importants surtout avec l'alimentation des larves à base de déchets d'origine végétale. Néanmoins les mortalités imaginaires étaient élevées, plusieurs facteurs restent à investiguer telles que la qualité nutritionnelle.

Le compost d'origine mixte a conduit à une meilleure croissance en hauteur des plants de tomate par rapport au reste des intrants à savoir la Floratone en tant que régulateur de croissance et les composts végétal et animal fournis séparément. Les déchets d'origine animale incorporés en mélange au substrat sol n'ont pas donné de résultats satisfaisants. D'autres expériences pourraient être conduites à l'avenir à partir de la combinaison d'autres coproduits de la sélection pour une évaluation plus poussée.

Références bibliographiques

1. **Abdesselam A., 2012** - « Contribution à l'étude de l'impact d'un boom à cyanobactérie toxiques sur la croissance de la tomate industrielle *Lycopersicum esculentum* L. (variété 61.08) ». mémoire de Magister. « Agriculture et fonctionnement des écosystèmes ». Centre Universitaire d'El Taref, p : 50, 51,64.
2. **Addeo N.F., Vozzo S., Secci G., Mastellone V., Piccolo G., Lombardi P., Parisi G., K.A. Asiry, Attia Y.A. et Bovera F., 2021** - Different Combinations of Butchery and Vegetable Wastes on Growth Performance, Chemical-Nutritional Characteristics and Oxidative Status of Black Soldier Fly Growing Larvae. *Animals* 2021, 11, 3515. <https://doi.org/10.3390/ani11123515>.
3. **Aeschimann E., 2016** - L'OBS. Histoire de goût, qui a tué la tomate. N° 2702. 51p.
4. **Akouo T, Damideco H., 2022**- Travaux avec mon jardin et ma maison, Les maladies de la tomate : comment les reconnaître et les soigner ? [en ligne]. Disponible sur : «<https://monjardinmamaison.maison-travaux.fr/mon-jardin-ma-maison/plantes-par-type/maladies-plantes/maladies-de-tomate-reconnaitre-210231.html#item=1>»(consulté le 15 aout 2022).
5. **Akouo Y, et Damideco F., 2022** - Quels sont les 4 différents types de compost. maison travaux avec mon jardin et ma maison [en ligne]. Disponible sur : «<https://monjardinmamaison.maison-travaux.fr/mon-jardin-ma-maison/conseils-jardinage/differents-types-de-compost-188825.html>»(consulté le 11 aout 2022).
6. **Anyega A.O., Korir N.K., Beesigamukama D., Changeh G.J., Nkoba K., Subramanian S., Van Loon Joop J.A., Dicke M. et Tanga C.M., 2021**- Black Soldier Fly Composted Organic Fertilizer Enhances Growth, Yield, and Nutrient Quality of Three Key Vegetable Crops in Sub-Saharan Africa. *Frontiers in Plant Science* | www.frontiersin.org , June 2021 | Volume 12 | Article 680312

7. **Anonyme, 2020** - Fan2tomates.boosterla croissance des plantes de la tomate[en ligne].disponible sur :«<https://www.fan2tomates.com/index.php/2020/07/14/booster-la-croissance-des-plants-de-tomates/>».(consulté le 9 aout 2022).
8. **Anonyme, 2022** - Le monde, Jardiner avec binette & jardin, les engrais NPK : définition, utilisation limitant [en ligne].disponible sur : «<https://jardinage.lemonde.fr/dossier-1012-engrais-npk.html> =Les engrais NPK définition utilisation et limites, qui les composent azote phosphore potassium.» (consulté le 09 aout 2022).
9. **Anonyme, Agriculture Biologique**«https://pa.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Nouvelle-Aquitaine/106_Inst-Pyrenees-Atlantiques/Documents/Technique_et_innovation/agriculture_biologique/Le_saviez-vous/LSCAB_-_Les_intrants_en_bio.pdf»
10. **Anonyme., 2022** - Biointrant , l’agriculture probiotique :améliorer la productivité agricole la sante des plantes, réconcilier l’agriculture avec l’environnement [en ligne]. Disponible sur : «<https://www.biointrant.com/>» (consulté le 10 aout 2022).
11. **Anonyme., 2022** -BooWikiencycopedie libre. *Hermetia illucens* [enligne]. Disponible sur : «<https://boowiki.info/art/stratiomyomorpha/hermetia-illucens.html>» (consulté le 12 aout 2022).
12. **Anonyme., 2022** – INPN (inventation national de patrimoine naturel, nature France [en ligne]. Disponible sur : «https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/217341/tab/taxo»(consulte le 12 aout 2022).
13. **Anonyme., 2001**-Recyclage des déchets organiques en agriculture biologique [en ligne]. Journées techniques ITAB de Rambouillet . Echo-M n 29-mai juin 2001, pp : 1-4. Disponible sur : «http://www.itab.asso.fr/downloads/echo-mo/article_echo_mo_29.pdf».
14. **Anonyme., 2019** - *Quel est cet ANIMAL ?. diptères, la mouche soldat noire* [en ligne]. Disponible sur : «<https://www.quelestcetanimal.com/dipteres/la-mouche-soldat-noire/>»(consulté le 15 aout 2022).

15. **Anonyme., 2019-** Production artificielle de la mouche soldat noire .entomologie fonctionnelle et évolution. Gembloux Agro-Bio Tech. Université de liège [en ligne]. consulté le 12 aout 2022.
16. **Anonyme., 2022 -**VIVECSIA, Bio-intrant : quelles recherches et utilisation ?[en ligne]. Disponible sur : «<https://www.vivescia.com/grand-angle/tous/bio-intrants-queelles-recherches-et-utilisations>»(consulte le 10aout 2022).
17. **Athrthon et Rudish., 1986 :** The tomato crop. A scientific basis for improvement.
18. **Attal A, Thevenot D.R., 1984 -** Caractérisation physico-chimique des tourbes utilisées en station d'épuration. Etude C.R.E.A.T.E., Colombes et L.A.B.A.M., Université Paris-Val de Marne, Créteil.
19. **Bénard, C. (2009).** Etude de l'impact de la nutrition azotée et des conditions de culture sur le contenu en polyphénols chez la tomate. (These de Doctorat). Nancy Université, France. Chaux. C et Foury. C, 1994: production légumière, T3. Edition tec-doc Lavoisier, Paris,
20. **Blanc P., 1987 -** Les cultures hors sol. Compte rendu des colloques INRA 2^{eme} édition Louis Jean, Paris. 409pp.
21. **Bollinger, M.,** “Les cultures maraichères, solanacées fruits”, I.T.C.M.I., Staouali,(1970), 3-22
22. **Bondari K, Sheppard D.C., 1981-** Soldier fly larvae as feed in commercial fish production. Aquaculture. 24, pp:103-109.
23. **Bouzaata, C. (2016).** Valorisation des sous produits de quatre variétés de tomate industrielle (*Solanum esculentum* L) dans l'Est Algérien. (These de Doctorat). Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie.
24. **Chanforan, C. (2010).** Stabilité de microconstituants de la tomate (composés phénoliques, caroténoïdes, vitamines C et E) au cours des procédés de transformation: études en systèmes modèles, mise au point d'un modèle stoechio-cinétique et validation pour l'étape unitaire de préparation de sauce tomate. (These de Doctorat). Université d'avignon et des pays de vaucluse, France.
25. **CHAUX C.L. et FOURY C.L., 1994.** Cultures légumières et maraichères. Tome III : légumineuses potagères, légumes fruit .Tec et Doc Lavoisier, Paris. 563p. Fondation Agromisa et CTA, Wageningen. Pp 6-18.
26. **Chen X.H, Thevenot D.R., 1986 -** Traitement en pots d'effluents cuivriques industriels sur tourbe. Rapport de recherche, L.A.B.A.M., Université Paris-Val de Marne.

- 27. Chiam Z., Tian En Lee J., Koon Ngee Tan J., Song a S., Arora S., Tong Y.W. et Tiang Wah Tan H., 2021-** Evaluating the potential of okara-derived black soldier fly larval frass as a soil amendment. *Journal of Environmental Management* 286 (2021) 112163.
- 28. Chikou A., 2006** - Etude de la démographie et de l'exploitation halieutique de six espèces de poissons-chats (Teleostei, Siluriformes) dans le delta de l'Ouémé au Bénin. Thèse de doctorat, Université de Liège (Belgique).
- 29. Clémentine des femmes, 2021** -Gerbeaud, comment utiliser le compost ?[en ligne]. Disponible sur :«https://www.gerbeaud.com/jardin/jardinage_naturel/compost-utilisation,1546.html» (consulté le 11 aout 2022).
- 30. Corenthin C., 2020** -Horiti germination révolution dans l'alimentation animale : élevage de la mouche soldat noire en serre [en ligne].Disponible sur : «<https://horti-generation.com/fr/culture-insectes-en-serre-mouche-noire-soldat/>»(consulté le 10 aout 2022).
- 31. De Marco L., 2015** - Nutritional value of two insect larval meals (*Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens*) for broiler chickens: Apparent nutrient digestibility, apparent amino acid digestibility and apparent metabolizable energy. *Animal feed science technology*, 209, pp: 211-218.
- 32. Denis P., 2006** - Compost et paillage au jardin, Terre vivante.
- 33. Diclaro II, Joseph W, Kaufman P.E ., 2009** - "Black soldier fly hermetiaillucenslinnaeus (insecta: Diptera: Stratiomyidae)." EDIS 2009.7 p.
- 34. Didier S., 2020** -Potager Nature culture de la tomate : comment entretenir et fertiliser ses tomates ?[en ligne].disponible sur : «<https://unpotagernature.fr/culture-de-tomates-comment-entretenir-et-fertiliser-ses-tomates> = Un bon entretien passe par arrosage apport engrais, de pluie surtout pour la culture en pot.»(consulté le 09 aout 2022).
- 35. Ekopedia, compost** : « [enligne]. Disponible sur : «<https://www.ekopedia.fr/wiki/Compost>».(consulte le 11 aout 2022)».

- 36. Evenhuis N.L., 2011-** Family Stratiomyidae. In: Evenhuis, N.L. [Ed.]. Catalog of the Diptera of the Australasian and Oceanian Regions (online version). Available at: <http://hbs.bishopmuseum.org/aocat/stratiomyidae.html> (Last accessed: 12 aout 2022).
- 37. Frédéric G., 2021 -** Intrans biologique et politique agricoles en Amérique du sud : entre ruptures et continuités. Cirad la recherche agronomique pour le développement, 2p.
Références bibliographiques
- 38. GALLAIS A. et BANNEROT H., 1992.** Amélioration des espèces végétales cultivés
- 39. Gougbedji A., Agbohessou P., Lalèyè P.A., Francis F. et Megido R.C., 2020 -** Inventaire des coproduits agricoles potentiellement utilisables pour la production de pupes de mouche *Hermetia illucens* (L.1758) pour l'alimentation piscicole au Bénin. *Tropicultura* 2295-8010 volume 38 (2020) Numéro 3-4, 1587.
- 40. Guignard J.L.,** "Botanique systématique moléculaire 12eme édition reversée". Edition Masson, (2001), Pp. 231 -235
- 41. Haupt A., 2000 -***Guide des Mouches et des Moustiques. Delachaux & Niestlé.*
- 42. Henry M., Gasco L., Piccolo G. et Fountoulaki E., 2015 -** Review on the use of insects in the diet of farmed fish: Past and future. *Animal Feed Science and Technology*, 203, 1, 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.03.001>.
- 43. INDREA D.et APHIDEAN R., 1988:** Lucaripratice et légumicultura. *Inst.Agro.Eily.napoca*, pp 2-12 .
- 44. Kebli H. et Sinaj S., 2017 -** Potentiel agronomique d'un engrais naturel à base de digestats de larves de mouches. *Recherche Agronomique Suisse* 8 (3): 88–95.
- 45. Kiba D.I., 2005 -** Valorisation agronomique des excréta humains : utilisation de fèces humaines et des urines pour la production de l'aubergine (*Solanum elongena* L.) et du maïs (*Zea mays* L.) dans la zone centre du Burkina Faso. Mémoire de Fin d'études, Institut de Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo Dioulasso, 79p.

- 46. Kim W, Bae S, Park K, Lee S, Choi Y, Han S, Koh Y., 2011** - « Biochemical characterization of digestive enzymes in the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae)», *Journal of Asia-Pacific Entomology*, vol. 14, n° 1,11-14p.
- 47. Kunder ., 2012** - Food safety and preservation. In Edible insects Future prospects for food and security. FAO Forestry paper, 117-124pp.
- 48. La rédaction de futura, 2019** - FUTURA:«[en ligne].Disponible sur : «<https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/developpement-durable-intrant-10012/>».(consulté le 9 aout 2022)».
- 49. LATIGUI A., 1984.** Effet des différents niveaux de fertilisation potassique sur la fructification de la tomate cultivé en hiver sous serre non rechauffée. INRA el harrachAlgérie.London Chapman and Hall. 661 In Bernard objectif et critères de sélection. INRA, Paris.
- 50. Leclercq M., 1997** - « À propos de *Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758) (“soldier fly”) (Diptera: Stratiomyidae: Hermetiinae) ». Bull.Anals Soc. R. belge Ent., vol. 133,275-282p.
- 51. Linnaeus C., 1758** – Systema naturæ per regna tria naturæ, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis. Editiodecima, reformata. Holmiæ. (Salvius). Tomus I: 1-824p.
- 52. Makkar H.P.S., Tran G., Heuze V. & Ankers P., 2014** - State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 1–33. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008>.
- 53. Ouest France., 2017** - Parole d’expert. La mouche soldat noire, arme ultime contre les dechet organique [en ligne]. Disponible sur : «<https://www.ouest-france.fr/environnement/parole-d-expert-la-mouche-soldat-noire-arme-ultime-contre-les-dechets-organiques-5349722>»(consulté le 11 juin 2022).
- 54. PYRON J,-y, 2006:** Références production légumières, éd: Lavoisier (synthèse agricole), Paris, 613p
- 55. Questel K ., 2020** - Les listes de la faune de Saint-Barthélemy, espèces indigènes et espèces exotiques. Version du 9 novembre 2020. Agence Territoriale de l'Environnement de Saint-Barthélemy. (Consulté le 11 aout 2022).

- 56. Rozkošný R., 1983** - A biosystematic study of the European Stratiomyidae (Diptera). Volume 2: Clitellariinae, Hermetiinae, Pachygasterinae and bibliography. *Series Entomologica (Dordrecht)*, 25, pp: 1-431.
- 57. Shankara N. , Josep Van Lido de J., Marja G., Martin H., Barbara Van Dama.,2005** . La culture des tomates production, transformation et commercialisation, Ed.
- 58. Sheppard D.C., 2002-** Rearing methods for the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae). *Journal of Medical Entomology*, 39 (4), pp : 695-698.
- 59. Sophie D, Nelly J, et Garance M., 2022** - Le point sur le compost, note technique, agricultures et territoires, chambre d'agricultures var [en ligne].disponible sur :
- 60. Tahi H.**, "Efficience de l'utilisation de l'eau d'irrigation chez la tomate par la technique de PRD (partial rootzone drying) et étude des mécanismes physiologiques et biochimiques impliquent". Thèse d'Etat en Biologie et Sante. Spécialité Biotechnologie végétale. Université Cadi Ayyad, Faculté Des Sciences, Semlalia. Marrakech, (2008), 185 p
- 61. Thomas J., 2018-** Fiche d'élevage des« vers de calcium» ou «Phoenix warms», les larves de la mouche soldat noire *Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758)[en ligne]. Arthropodus. Disponible sur : «<https://arthropodus.com/2018/07/20/fiche-d-elevage-des-vers-de-calcium-ou-phoenix-worms-les-larves-de-la-mouche-soldat-hermetia-illucens-linnaeus-1758/>»(consulté le 13 aout2022).
- 62. Thomas S., 2012** - Méthodes de végétalisation dans la restauration écologique de sites miniers : comparaison entre le Québec et le Pérou. Faculté Des Sciences, Université de Sherbrooke, 116p.
- 63. Tomberlin, C, Jeffery K.D, Sheppard C et Joyce J.A., 2002** - "Selected life history traits of black soldier flies (Diptera: Stratiomyidae) reared on three 73 artificial diets." *Annals of the Entomological Society of America* 95.3. 379-386p.
- 64. Toundou O., 2016** - Évaluation des caractéristiques chimiques et agronomiques de cinq composts de déchets et étude de leurs effets sur les propriétés chimiques du sol, la physiologie et le rendement du maïs (*Zea mays* L. Var. Ikenne) et de la tomate (*Lycopersicum esculentum* L. Var. Tropimech) sous deux régimes hydriques au Togo. Thèse de doctorat de l'Université de Lomé en cotutelle avec l'Université de Limoges, 213p.
- 65. Traoré K, Toé A.M., 2008** - Capitalisation des initiatives sur les bonnes pratiques agricoles au Burkina Faso. DVRD/DPV/MAHRH. 99p.
https://www.doc-developpementdurable.org/file/Outils-&-bonnespratiques-travail-de-la-Terre/bonnespratiquesagricoles/BonnesPratiquesAgricoles_Bur_kina.pdf Au Burkina Faso. DVRD/DPV/MAHRH. 99p.

https://www.doc-developpementdurable.org/file/Outils-&-bonnespratiques-travail-de-la-Terre/bonnespratiquesagricoles/BonnesPratiquesAgricoles_Bur kina.pdf

66. **Van Huis A ., 2015-** Insects to feed the world. Journal of Insects as Food and Feed. 1(1),pp: 3-5.
67. **Wurtz C.A, Bouis J., 1870** - Dictionnaire de chimie pure et appliquée: comprenant la chimie organique et inorganique, la chimie appliquée à l'industrie, à l'agriculture et aux arts, la chimie analytique, la chimie physique et la minéralogie, Volume 2. Hachette.
68. **Yara U., 2021** –knowledge grows, nutrition de la tomate améliorer le rendement [en ligne]. Disponible sur : «<https://www.yara.fr/fertilisation/solutions-pour-cultures/tomate/ameliorer-rendement-tomates/>»(consulté le 09 aout 2022).