

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université 8 Mai 1945 – Guelma

Faculté de science et technologique

Département de Génie des procédés

Réf:...../2025



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de **Master** Académique

Domaine : Science et technologie.

Filière : Génie des procédés.

Spécialité : Technologie des procédés d'hydrogène vert

Thème

Valorisation des déchets organiques : production de compost et de biogaz

Préparé par

Attallah Wala

Klaiaia Manar

Sous la direction de : **Dr. Bouraghda Yehya**

Année Universitaire : 2024/2025

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

ReMeRCIeMeNT



Nous remercions Allah le Tout puissant et le bienveillant, de nous avoir accordés le succès, les bénédictions, la santé et surtout le courage d'accomplir ce travail et que sans lui nous ne serions pas là.

*Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de **Dr.BOURAGHDA Yehya**, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur, et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.*

*Sans oublier aussi Monsieur **A. Zerfa**, le directeur du laboratoire de contrôle de qualité et de conformité « **GNIE.LAB** » à Aïn M'lila, pour son aide précieuse dans la réalisation des analyses.*

À tous ceux qui ont généreusement contribué à rendre ce moment significatif, nos collègues, nos professeurs, toute l'équipe administrative de notre université et l'équipe du laboratoire.

Nous exprimons également nos vifs remerciements aux membres du jury qui ont accepté d'examiner ce travail.

Et bien sûr, Nos vifs remerciements s'adressent principalement à nos petites familles, qui nous ont soutenus tout au long de notre parcours, depuis notre enfance.

Enfin nous ne saurons pas terminer sans mentionner ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet.



Dédicace :

Tout d'abord, je tiens à remercier **DIEU** de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Ce travail est dédié à :

La jeune fille de 17 ans que j'étais, celle qui a toujours cru en elle, qui savait, au fond d'elle-même, qu'un jour elle serait fière de ce qu'elle deviendrait. Aujourd'hui, ce jour est arrivé.

À celui qui m'a dit un jour que je suis la prunelle de ses yeux, et qui voyait dans mon plus simple succès la plus grande réalisation, à l'homme qui a fait de moi ce que je suis aujourd'hui car il est **mon Père**, celui dans les yeux duquel je vois la fierté de moi, mon modèle de respect et d'amour d'un père, de la compréhension et de la générosité. Grâce à toi j'ai appris à être la fille qui ne cesse pas de faire tout pour te rendre heureux et fier.

À celui qui n'a jamais cessé de m'encourager et de prier pour moi. Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études, à toi **ma Mère**. Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour ses enfants, en me guidant sur le bon chemin dans ma vie et mes études. Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour.

À mes frères, **Chouaib, Mouhamed Wail**, qui ont été ma force silencieuse, mes confidents et ma source d'énergie.

À ma petite ange, ma sœur **Rawan**, ma source de joie, merci d'avoir illuminé mes journées avec ton sourire.

À mes chères cousines, sans exception,

Merci d'avoir été là, dans chaque étape de ma vie, avec votre affection, votre écoute et votre belle énergie.

Sans oublier mon binôme **Wala** pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce travail

À mes amies, **Lina**, malgré la distance, vous êtes toujours restée proche par votre écoute et vos encouragements.

Yusra, Noha, Chaima, et GHada mes amies d'enfance, vous occupez une place singulière dans mon histoire.

A tout ma famille **Klaiaia et Merah**.

A tous ceux que j'aime et m'aiment.

KLAIAIA MANAR

Dédicace :

Du plus profond de mon cœur, je dédie ce travail, à :

وكان فضل الله عليك عظيماً

À moi-même, Je suis fière de toi. Tu as traversé des moments difficiles, et combien de fois as-tu cru ne jamais voir la fin de ce tunnel. À chaque étape, tu étais présente pour te reconforter et chercher des solutions. Je ne pourrai jamais te remercier assez pour tout ce que tu as enduré durant ces années pleines d'efforts et de défis.

« **Merci infiniment à moi-même** »

À ma famille, qui m'a offert une éducation noble et dont l'amour a été la source de tout ce que je suis aujourd'hui. Qu'Allah te protège, te bénisse et t'accorde une longue vie en bonne santé. En particulier :

À ma chère mère, Hamadi Samia, Tu es l'amour de ma vie, la lumière qui a illuminé mon chemin vers la réussite. Tu as toujours été mon pilier, m'écoutant, me conseillant et m'encourageant à chaque étape. Aucun mot ne saurait exprimer ce que je ressens pour toi. Tu es un exemple de courage et d'amour inconditionnel. Merci pour ton amour précieux depuis mon enfance.

À mon cher père, Djamel, Mon roc, mon ami compréhensif, celui qui mérite tout mon respect. Tu as toujours été là pour me protéger, me guider et me soutenir. Merci pour ta présence, ta confiance et ton encouragement constant.

À mon frère Yahia, compagnon de route et soutien fidèle. Merci pour ta présence constante.

À mes deux sœurs, Wissal et Ritedj, sources de ma joie et de mon bonheur. Je vous aime et vous souhaite un avenir radieux. Qu'Allah vous protège.

À ma grand-mère, mes oncles et mes tantes, merci pour votre soutien, votre confiance et vos prières, surtout dans les moments les plus difficiles. Que Dieu vous accorde une vie longue et heureuse.

À toutes mes cousines, Bouchra, Yousra, Dhikra, Sara, Djehane, Arije, Bouthaina, Khawter sans exception, avec qui j'ai partagé des moments inoubliables. Merci à vous toutes.

À mon amie fidèle, Malak, toujours présente avec son cœur sincère. Merci pour ta loyauté, ton honnêteté et ton soutien.

À ma chère, Oumaima, ma confidente et témoin de tout mon parcours universitaire. Tu n'as jamais été seulement une cousine, mais bel et bien une sœur et un pilier. Ton soutien a été essentiel à mon évolution. Merci pour tout. Je te souhaite de réaliser tous tes rêves.

À mon binôme Manar, avec qui j'ai partagé les joies et les épreuves de cette aventure. Merci pour ton engagement dans la réussite de ce projet. Je te souhaite un avenir professionnel brillant.

À toutes les personnes qui m'ont aidée, de près ou de loin, je dis simplement : Merci.

Et à toutes celles et ceux qui me portent dans leur cœur avec amour et respect : merci du fond du cœur.

Table des matières

Remerciement.....	III
Dédicace :	IV
Dédicace :	V
Table des figures	VIII
Liste des tableaux	VI
Les acronymes ou abréviations	VII
Résumé	VIII

Introduction Générale

Introduction générale :	1
-------------------------------	---

Chapitre I : Classification et valorisation des déchets organiques

I.1. Définition des déchets :	5
I.2. Types des déchets :	5
I.2.1. Les déchets industriels :	5
I.2.2. Déchet organique :	6
I.2.3. Déchets ménagers :	6
I.3. Valorisation des déchets organiques :	7
I.3.1. Définition et enjeux :	7
I.3.2. Impact environnemental et économique de la gestion durable des déchets organiques :	8
I.3.3. Différentes méthodes de valorisation des déchets organiques :	8
Références bibliographiques	9

Chapitre II : Valorisation énergétique des déchets organiques par méthanisation et fermentation sombre

II.1. La méthanisation :	11
II.1.1. Définition :	11
II.1.2. Les étapes biochimiques:	12
II.1.3. Micro-organismes impliqués :	13
II.1.4. Conditions opératoires optimales :	13
II.1.5 Substrats utilisés pour la méthanisation :	14
II.1.6. Caractéristiques spécifiques des déchets alimentaires universitaires :	15
II.2. Le Biogaz un produit de la méthanisation et ses usages énergétiques:	15
II.2.1. Définition :	15

II.2.2. Composition typique :	16
II.2.3. Usages et valorisation énergétique :	16
II.3. La fermentation sombre :	17
II.3.1. Définition et fonctionnement :	17
II.3.2. Micro-organismes et conditions opératoires :	17
II.4. Comparaison entre fermentation sombre et méthanisation :	18
II.5. Exemples de projets nationaux sur la méthanisation en Algérie :	18
II.5.1. Projet expérimental de biogaz à Batna :	18
II.5.2. Start-up Green AL :	19
II.5.3. Projet de méthanisation à Oued Semar (Alger) :	19
II.6. Conclusion :	19
Références bibliographiques.....	20

Chapitre III : Le compostage et le Vermicompostage.

III.1. Définitions :	23
III.1.1. Définition du compostage :	23
III.1.2. Définition du compost :	23
III.2. Principe du compostage :	23
III.2.1. La phase mésophile :	24
III.2.2. La phase thermophile :	24
III.2.3. La phase de refroidissement :	24
III.2.4. La phase de maturation :	24
III.3. Les Facteurs influençant le compostage :	25
III.4. Les Types de compostage :	25
III.5. Généralités sur le vermicompostage :	26
III.5.1. Paramètres influençant le vermicompostage :	26
III.5.2. L' Absence de la phase thermophile : Dégradation à température ambiante :	27
III.5.3. Présentation des vers de terre :	28
III.5.4. Indicateurs de maturité du compost :	29
III.6. Conclusion :	30
Références bibliographique	30

Chapitre IV : Matériels et méthodes

IV.1. Introduction :	33
IV.2. Site expérimental :	33
IV.3. Matériels et Méthodes expérimentales :	34
IV.3.1. Etude de la matière première :	34

IV.4. Suivi des paramètres physico-chimiques durant le vermicompostage :.....	42
IV.5. Phase post-vermicompostage, récolte et traitement du compost final :	44
IV.5.1. Séparation des vers de terre :.....	44
IV.5.2. Séchage du compost :	44
IV.5.3. Tamisage :.....	44
IV.6. Collecte d'échantillons pour analyse en laboratoire :	46
IV.7. Conclusion:.....	47

Chapitre V : Résultats et discussion

V.1. Introduction :	48
V.2. L'observation visuelle des unités :	48
V.3. Le rendement :	48
V.4. Suivi physico-chimique durant le processus de vermicompostage :	48
V.4.1. Température :	49
V.4.2. Humidité :	50
V.4.3. Potentiel hydrogène pH :.....	51
V.4.4. Teneur en NPK (Azote, Phosphore, Potassium) :.....	52
V.5. Présentation des résultats :.....	52
V.6. Description des résultats :.....	53
V.7. Discussion des paramètres physico-chimiques :.....	53
V.7.1. Matière organique et carbone :.....	53
V.7.2. Potentiel hydrogène (pH) :.....	54
V.7.3. Conductivité Électrique (CE) et Solides Totaux Dissous (TDS) :.....	54
V.7.4. Éléments Nutritifs Majeurs (N, P, K) :	54
V.7.5. Éléments Secondaires (Na, Mg, Ca, Cl) :	55
V.8. Évaluation globale de la qualité des échantillons et impact des traitements :	55
V.9. La présentation du spectre infrarouge de l'Ech1 :.....	56
V.10. Conclusion :.....	57
Références bibliographique	58

Conclusion générale

Conclusion générale :	60
Perspective.....	63

Table des figures

N° figure	Titre	Page
Figure I.1	Des déchets.	5
Figure I.2	Types de déchets.	7
Figure II.1	Schéma complet de fonctionnement en réseau d'un méthaniseur .	11
Figure II.2	Les étapes biochimiques .	13
Figure III.1	Compost.	23
Figure III.2	Courbe théorique de l'évolution de la température au cours du compostage.	25
Figure III.3	Vers de terre.	28
Figure IV.1	Localisation de l'université de Guelma.	33
Figure IV.2	Des déchets alimentaires.	36
Figure IV.3	La litière, le milieu de vie initial des vers.	37
Figure IV.4	Litière humidifiée.	37
Figure IV.5	Des déchets organiques alimentaires.	38
Figure IV.6	L'ajout de 20g de vers.	39
Figure IV.7	L'ajout de 50g de vers.	39
Figure IV.8	Broyage de la matière organique.	40
Figure IV.9	Vers de compost (<i>Eisenia fetida</i>).	41
Figure IV.10	Bac n°4.	41
Figure IV.11	La mesure de la température à l'aide d'un thermomètre.	42
Figure IV.12	Appareil de mesure.	42
Figure IV.13	Séchage du vermicompost.	44
Figure IV.14	Le vermicompost après le tamisage.	45
Figure IV.15	Des échantillons.	46
Figure V.1	Évolution de la température au cours du processus de vermicompostage.	49
Figure V.2	Évolution de l'humidité dans les quatre unités expérimentales.	50
Figure V.3	Variation du pH dans les différentes unités expérimentales.	51
Figure V.4	Spectre infrarouge (FT-IR) du vermicompost en mode transmission, $T=f$ (nombre d'ondes cm^{-1}).	56

Liste des tableaux

N° tableaux	Titre	Page
Tableau II.1	Les principaux paramètres influençant le rendement de la méthanisation.	13
Tableau II.2	Les micro-organismes et conditions opératoires de la fermentation sombre.	17
Tableau II.3	Comparaison entre fermentation sombre et méthanisation.	17
Tableau III.1	Les principaux paramètres influençant le vermicompostage.	27
Tableau III.2	Une Comparaison avec le compostage traditionnel.	27
Tableau IV.1	Quantités servies et déchets générés lors de la préparation des repas pour 600 étudiants.	36
Tableau IV.2	Évolution des paramètres physico-chimiques dans les unités expérimentales 1 et 2.	43
Tableau IV.3	Évolution des paramètres physico-chimiques dans les unités expérimentales 3 et 4.	43
Tableau V.1	Caractéristiques physico-chimiques des échantillons de compost organique et du sol témoin.	52

Les acronymes ou abréviations

AGV : acides Gras Volatils.

CE : conductivité électrique.

CET : Centre d'Enfouissement Technique.

Clostridium spp : les différentes espèces du genre Clostridium.

DCO : demande chimique en oxygène.

Ech: Echantillon.

IG: Indice Germination.

IRTF : spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier.

MO : Matières organiques.

NPK : Azote, Phosphore, Potassium.

Rapport C/N : Carbone / Azote.

Spp : plusieurs espèces.

TDS : Solides totaux dissous.

Wet : procédé en phase humide (wet process).

TAC : Teneur Alcaline Complète

Résumé

La gestion des déchets organiques, notamment ceux issus des restaurants universitaires, représente un enjeu environnemental majeur. Ce travail s'est attaché à la valorisation de ces biodéchets par deux approches complémentaires : la production expérimentale de vermicompost et une étude théorique de la production de biogaz. La phase expérimentale a consisté à mettre en œuvre un système de vermicompostage avec des vers de l'espèce *Eisenia fetida*. Le suivi rigoureux des paramètres physico-chimiques tels que (pH, la température, l'humidité) a démontré l'efficacité du procédé qui a permis de produire un compost naturel et stabilisé, sans aucun additif chimique. Les résultats analytiques ont révélé une qualité agronomique très élevée du produit final. Le vermicompost a montré un enrichissement remarquable en matière organique, atteignant jusqu'à 44 %, contre seulement 3,89 % pour le sol témoin. Les analyses ont également confirmé une forte concentration en nutriments essentiels : les teneurs en azote (jusqu'à 75 mg/l), phosphore (43,44 mg/l) et surtout en potassium (jusqu'à 2412 mg/l) ont largement dépassé celles du sol témoin (36,11, 13 et 119,1 mg/l respectivement). Le produit final présentait un pH alcalin, compris entre 8,17 et 9,02. En parallèle, un volet théorique a exploré le potentiel de valorisation énergétique par production d'hydrogène vert et par méthanisation. Ce travail confirme que le vermicompostage est une solution biotechnologique performante pour la gestion des biodéchets en milieu universitaire, s'inscrivant dans une démarche d'économie circulaire en transformant un déchet en une ressource à haute valeur ajoutée.

Abstract

The management of organic waste, particularly from university restaurants, represents a major environmental challenge. This work focused on the valorization of this biowaste through two complementary approaches: the experimental production of vermicompost and a theoretical study of biogas production. The experimental phase consisted of implementing a vermicomposting system using worms of the *Eisenia fetida* species. Rigorous monitoring of parameters demonstrated the process's effectiveness, which produced a natural and stabilized compost without any chemical additives. Analytical results revealed a very high agronomic quality of the final product. The vermicompost showed a remarkable enrichment in organic matter, reaching up to 44%, compared to only 3.89% in the control soil. Analyses also confirmed a high concentration of essential nutrients: nitrogen (up to 75 mg/L), phosphorus (43.44 mg/L), and especially potassium (up to 2412 mg/L) levels largely exceeded those of the control soil (36, 11.13, and 119.1 mg/L respectively). The final product had an alkaline pH, ranging between 8.17 and 9.02. In parallel, a theoretical component explored the potential for energy valorization through production of green hydrogen and methanization. This work confirms that vermicomposting is a high-performance biotechnological solution for managing biowaste in a university setting, fitting perfectly within a circular economy framework by transforming waste into a high-value resource.

ملخص

تُمثل إدارة النفايات العضوية، خاصة تلك الناتجة عن المطاعم الجامعية، تحديًا بيئيًا كبيرًا. ركّز هذا العمل على تثمين هذه النفايات الحيوية من خلال نهجين متكاملين: الإنتاج التجريبي للسماد الدودي (vermicompost) ودراسة نظرية لإنتاج الغاز الحيوي. تضمنت المرحلة التجريبية تطبيق نظام التسميد الدودي باستخدام ديدان من نوع *Eisenia fetida*. أثبت الرصد الدقيق للمعايير الفيزيائية والكيميائية مثل (الرقم الهيدروجيني، ودرجة الحرارة، والرطوبة) فعالية العملية، مما مكّن من إنتاج سماد طبيعي ومستقر، دون أي إضافات كيميائية. كشفت النتائج التحليلية عن جودة زراعية عالية جدًا للمنتج النهائي. حثّ أظهر السماد الدودي إثراءً ملحوظًا بالمادة العضوية، وصلت نسبتها إلى 44%، مقارنةً بـ 3.89% فقط للتربة المرجعية. أكدت التحاليل أيضًا ارتفاع تركيز العناصر الغذائية الأساسية: فقد تجاوزت مستويات النيتروجين (حتى 75 ملغم/لتر)، والفوسفور (43.44 ملغم/لتر)، وخاصةً البوتاسيوم (2412 ملغم/لتر) بشكل ملحوظ مستويات التربة المرجعية (36، 11.13، و119.1 ملغم/لتر على التوالي). وتميز المنتج النهائي بدرجة حموضة قلوية (pH) تراوحت بين 8.17 و9.02. وفي موازاة ذلك، استكشف الجانب النظري إمكانية التثمين الطاقوي للنفايات من خلال عملية إنتاج الهيدروجين الأخضر ومن خلال الميثان (الهضم اللاهوائي). يؤكد هذا العمل أن التسميد بالديدان هو حل تكنولوجي حيوي عالي الاداء لإدارة النفايات الحيوية في البيئة الجامعية، وهو جزء من نهج الاقتصاد الدائري بتحويل النفايات إلى مورد ذي قيمة مضافة عالية.

Introduction Générale

Introduction générale :

La production de bio déchets a connu une hausse significative au cours des dernières décennies, posant un défi en matière de gestion durable des déchets. Les institutions publiques, notamment les restaurants universitaires et les industries agroalimentaires, génèrent d'importantes quantités de biodéchets, dont la gestion inefficace contribue à la pollution des sols, à l'émission de gaz à effet de serre et à la surcharge des infrastructures de traitement [1].

En Algérie, environ 13 millions de tonnes de déchets ménagers sont générés chaque année, dont plus de 50 % relèvent de la fraction organique, principalement issus de la restauration collective (restaurants universitaires, hôpitaux) et des industries agroalimentaires [2], malgré ce potentiel, la valorisation de ces biodéchets reste très faible : moins de 10 % sont traités par compostage ou biométhanisation, tandis que la grande majorité est enfouie ou abandonnée dans des décharges non contrôlées, contribuant ainsi à la pollution des sols et aux émissions de gaz à effet de serre [3].

Dans ce contexte, il est essentiel de développer des solutions durables pour la valorisation des déchets organiques. Parmi les approches les plus prometteuses, le compostage se distingue comme un processus naturel de décomposition biologique permettant de transformer les déchets alimentaires en un amendement organique riche en nutriments, contribuant ainsi à l'amélioration de la qualité des sols et à la réduction de l'usage des engrais chimiques. En parallèle, la fermentation sombre émerge comme une biotechnologie innovante capable de produire de l'hydrogène vert et le Bio-méthane, constituant ainsi une alternative énergétique propre et renouvelable favorisant la transition vers une économie bas-carbone. L'association de ces deux méthodes constitue une approche intégrée visant à optimiser la gestion des biodéchets tout en apportant une solution viable sur les plans environnemental et économique [4].

Cette recherche vise à évaluer la pertinence de ces procédés en examinant leur impact sur la fertilité des sols et leur efficacité dans la production d'une énergie propre. L'objectif principal est d'identifier les conditions optimales permettant d'améliorer la production de biogaz, d'hydrogène vert et la qualité du compost obtenu, tout en analysant leur faisabilité technique et économique pour une application à grande échelle [5].

Pour répondre à ces interrogations, une approche expérimentale et analytique sera adoptée. Elle repose sur des essais en laboratoire destinés à évaluer la qualité du compost

produit. Des analyses physico-chimiques et biologiques seront réalisées pour caractériser les propriétés et l'efficacité des produits obtenus. Enfin, une étude de faisabilité technique et économique permettra d'estimer les coûts de production, les bénéfices et les limitations de ces technologies en comparaison avec les solutions conventionnelles. Cette démarche intégrée permettra d'obtenir des résultats concrets sur l'efficacité des méthodes proposées et d'identifier les conditions optimales pour leur mise en œuvre à grande échelle.

Référence bibliographique

- [1] Bouadam, R. (2022). L'Algérie face à ses déchets : outils et entraves de gestion vers quelles perspectives ? *Architecture et environnement de l'enfant*, 17(1), 77-85.
- [2] Iacovidou, E., Ohandja, D. G., Gronow, J., & Voulvoulis, N. (2012). The household use of food waste disposal units as a waste management option: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 42(14), 1485-1508.
- [3] Ingle, K. K., Raut, R. D., & Ranade, V. V. (2022). Techno-economic analysis of food waste valorization for integrated production of polyhydroxyalkanoates and biofuels. *Bioresource Technology*, 347, 126752.
- [4] Jędrzak, A. (2020). Composting and fermentation of biowaste – advantages and disadvantages of processes. *Architecture Civil Engineering Environment*, 12(2), 31-37.
- [5] Sharma, R. (2024). Agro-industrial waste to energy-sustainable management. *Sustainable Materials and Technologies*, e01117.

Chapitre I : Classification et valorisation des déchets organiques

I.1. Définition des déchets :

Le terme « déchet » revêt des significations variées selon le contexte d'usage ainsi que le cadre législatif, et peut différer d'un auteur ou d'un pays à un autre. Selon le Programme des Nations Unies pour le Développement (2009) et l'article 3 de la loi n° 01-19 du 19 décembre 2001, publiée au Journal Officiel de la République Algérienne, relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, un déchet est défini comme : « tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, et plus généralement toute substance, produit ou bien meuble dont le propriétaire ou détenteur se défait, envisage de se défaire ou est tenu de se défaire ou de l'éliminer ».

Ce concept peut être appréhendé sous différents angles-économique, juridique, sociologique, politique, environnemental ou systémique. Parmi ces approches, deux dimensions ressortent particulièrement : la reconnaissance de la valeur économique potentielle du déchet, et l'importance des enjeux juridiques liés à sa gestion et à son traitement futur [1].



Figure I.1: Des déchets.

I.2. Types des déchets :

I.2.1. Les déchets industriels :

Ces déchets comprennent des matériaux de nature et de composition diverse, et donc on distingue :

Les déchets assimilables aux déchets municipaux, constitués de papier, carton, plastique, verre, ainsi que de matières organiques d'origine végétale ou animale. De manière générale, ils englobent les déchets municipaux ainsi que ceux susceptibles d'être valorisés par des procédés tels que le recyclage, la fermentation ou l'incinération avec récupération d'énergie. Ils ne présentent généralement pas de caractère toxique ou dangereux, et peuvent être traités ou stockés dans les

mêmes installations que les déchets ménagers. En revanche, les déchets industriels spéciaux (dangereux) se distinguent par leur fort pouvoir polluant, en raison de la présence d'éléments toxiques en quantités variables. Ils sont susceptibles de provoquer des nuisances significatives pour la santé humaine et l'environnement, et doivent, par conséquent, faire l'objet d'un traitement et d'un stockage rigoureux et adapté [1].

I.2.2. Déchet organique :

Autre appellation des déchets fermentescibles. Ce sont les résidus d'origine végétale ou animale qui peuvent être dégradés par les micro-organismes pour lesquels ils représentent une source d'alimentation. Ils incluent : les végétaux, les déchets putrescibles de la cuisine et ceux collectés auprès des cantines et restaurants d'entreprises, les papiers et cartons souillés certaines conditions. Ces déchets sont utilisés pour la fabrication du compost.

I.2.3. Déchets ménagers :

Les déchets ménagers sont des déchets issus de l'activité domestique des ménages et pris en compte par les collectes usuelles ou séparatives, et peuvent être séparés en trois sous-catégories :

La fraction résiduelle des déchets ménagers, obtenue après séparation des papiers, cartons, verres et emballages, également désignée par le terme ordures ménagères grises.

La fraction fermentescible (putrescible) des ordures ménagères, constituée de déchets organiques biodégradables ou biodéchets (déchets de cuisine, fleurs, etc.), récupérés lors de collectes sélectives visant à les isoler des autres composés non putrescibles.

Les déchets verts, qui sont des déchets organiques provenant de l'entretien des espaces extérieurs tels que les jardins privés, les parcs, les serres ou encore les terrains de sport. Ils regroupent notamment les feuilles mortes, les tontes de gazon, les tailles de haies et d'arbustes, les résidus d'élagage, ainsi que les déchets issus de l'entretien de massifs floraux. Ces déchets incluent également les résidus de jardin produits par les particuliers, collectés séparément ou par des circuits spécifiques de collecte. [2]

I.3.2. Impact environnemental et économique de la gestion durable des déchets organiques :

La gestion durable des déchets organiques joue un rôle essentiel dans la préservation de l'environnement et le développement économique.

Sur le plan environnemental, elle permet une réduction des émissions de gaz à effet de serre, car la valorisation des biodéchets (compostage, méthanisation et fermentation sombre) limite les émissions de méthane issues des décharges. Elle contribue également à la préservation des sols et des ressources naturelles, puisque le compost issu des déchets organiques améliore la fertilité des sols et réduit l'usage d'engrais chimiques. En outre, elle participe à la réduction de la pollution, car moins de déchets incinérés ou enfouis signifie une baisse des pollutions atmosphériques et des lixiviats nocifs pour les nappes phréatiques.

D'un point de vue économique, cette gestion permet une réduction des coûts de traitement des déchets, puisque le recyclage des biodéchets diminue les dépenses liées à l'enfouissement et à l'incinération. Elle favorise également la création d'emplois verts, en encourageant l'émergence de nouvelles filières et la création d'emplois locaux. Enfin, elle permet la production d'énergies renouvelables, grâce à la méthanisation et à la production d'hydrogène vert, qui génèrent du biogaz, une source d'énergie alternative pour l'électricité, la chaleur et le carburant [4].

I.3.3. Différentes méthodes de valorisation des déchets organiques :

Les déchets biodégradables peuvent être valorisés via des grands modes de traitement parmi lesquelles :

Le compost et la fermentation : Les déchets organiques, comme les végétaux, les restes alimentaires ou le papier, sont de plus en plus recyclés. Ces déchets sont déposés dans un composteur ou un digesteur pour contrôler le processus biologique de décomposition des matières organiques et tuer les agents pathogènes. Le produit organique stable qui en résulte est recyclé comme paillis ou terreau pour l'agriculture ou le jardinage. Il y a un très large éventail de méthodes de compostage et de fermentation qui varient en complexité, du simple tas de compost de végétaux à une cuve automatisée de fermentation de déchets domestiques divers.

Ces méthodes de décomposition biologique se distinguent en aérobie, comme le compost, ou anaérobie, comme les digesteurs, bien qu'il existe aussi des méthodes combinant aérobie et anaérobie [5].

Références bibliographiques

- [1] Helkhal, A. (2018). *La méthanisation des déchets* [Mémoire de fin d'études]. Centre Universitaire Belhadj Bouchaib, Institut de la Technologie, Département de Génie Mécanique, Aïn Témouchent.
- [2] Rezig, Z., & Zidi, A. (2020). *Valorisation des déchets ménagers par compostage : aspects physico-chimique et biologique* [Mémoire de Master]. Université Mohamed Khider, Département des Sciences de la Nature et de la Vie, Biskra.
- [3] Tamasiga, P., Miri, T., Onyeaka, H., & Hart, A. (2022). Food waste and circular economy: Challenges and opportunities. *Sustainability*, 14(16), 9896.
- [4] Van Grunderbeeck, B. (2017). *L'impact économique et environnemental de la gestion des déchets dans les systèmes alimentaires alternatifs bruxellois : le cas du réseau des magasins de distribution Färm* [Mémoire de Master]. Université Libre de Bruxelles, Institut de Gestion de l'Environnement.
- [5] Chelabi, H., & Taleb, Z. (2025). *Amélioration des propriétés mécaniques du plâtre de construction avec des déchets plastiques et verre* [Mémoire de Master]. Université Akli Mohand Oulhadj, Département de Génie Civil, Bouira.
- .

**Chapitre II : Valorisation énergétique des déchets organiques par
méthanisation et fermentation sombre.**

II.1. La méthanisation :

II.1.1. Définition :

La méthanisation, également appelée digestion anaérobie, est un processus biologique naturel de dégradation de la matière organique en absence d'oxygène. Ce mécanisme permet la production d'un biogaz composé principalement de méthane (CH_4) et de dioxyde de carbone (CO_2). Réalisée dans des conditions physico-chimiques spécifiques (pH neutre, température contrôlée), cette technologie offre une solution efficace pour le traitement des déchets organiques. Elle permet non seulement de stabiliser les déchets et réduire leur volume, mais aussi de produire une énergie renouvelable à haute valeur calorifique [1].

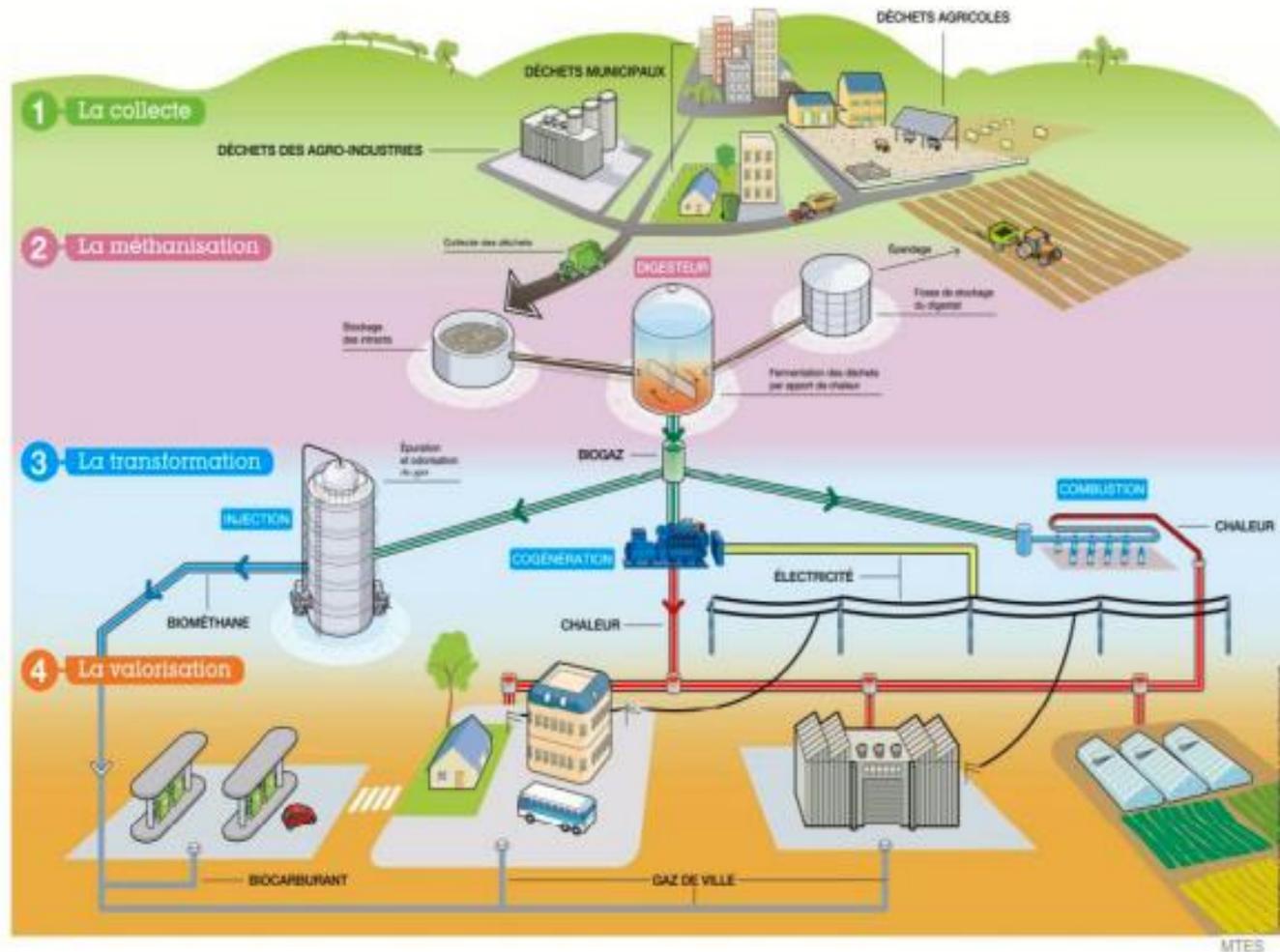


Figure II.1: Schéma complet de fonctionnement en réseau d'un méthaniseur [1].

II.1.2. Les étapes biochimiques:

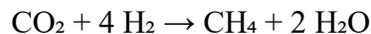
Hydrolyse : Cette première étape consiste à dégrader les macromolécules organiques (comme les glucides complexes, les protéines ou les lipides) en composés plus simples et solubles. Par exemple, la cellulose est fragmentée en sucres simples tels que le glucose ou le cellobiose, formant ainsi un substrat fermentescible.

Acidogénèse : Les produits solubles issus de l'hydrolyse sont ensuite métabolisés par des bactéries acidogènes. Cette phase conduit à la formation d'acides gras volatils (AGV) à chaînes courtes (C2 à C6), d'alcools, de gaz comme le dihydrogène (H₂) et le dioxyde de carbone (CO₂), ainsi que de l'ammoniac.

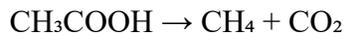
Acétogénèse : Au cours de cette étape, certains métabolites tels que les AGV et les alcools sont transformés en acétate, en H₂ et en CO₂ par des bactéries acétogènes et sulfatoréductrices. En cas de présence de sulfates, il peut également y avoir production de sulfure d'hydrogène (H₂S).

Méthanogénèse : Il s'agit de la dernière phase, durant laquelle les archaea méthanogènes convertissent principalement l'acétate, l'hydrogène et le bicarbonate en méthane (CH₄). Deux voies réactionnelles sont prédominantes :

La réduction du dioxyde de carbone :



La décarboxylation de l'acide acétique :



Ces réactions biochimiques permettent la production de biogaz, riche en méthane, qui peut être valorisé énergétiquement [2].

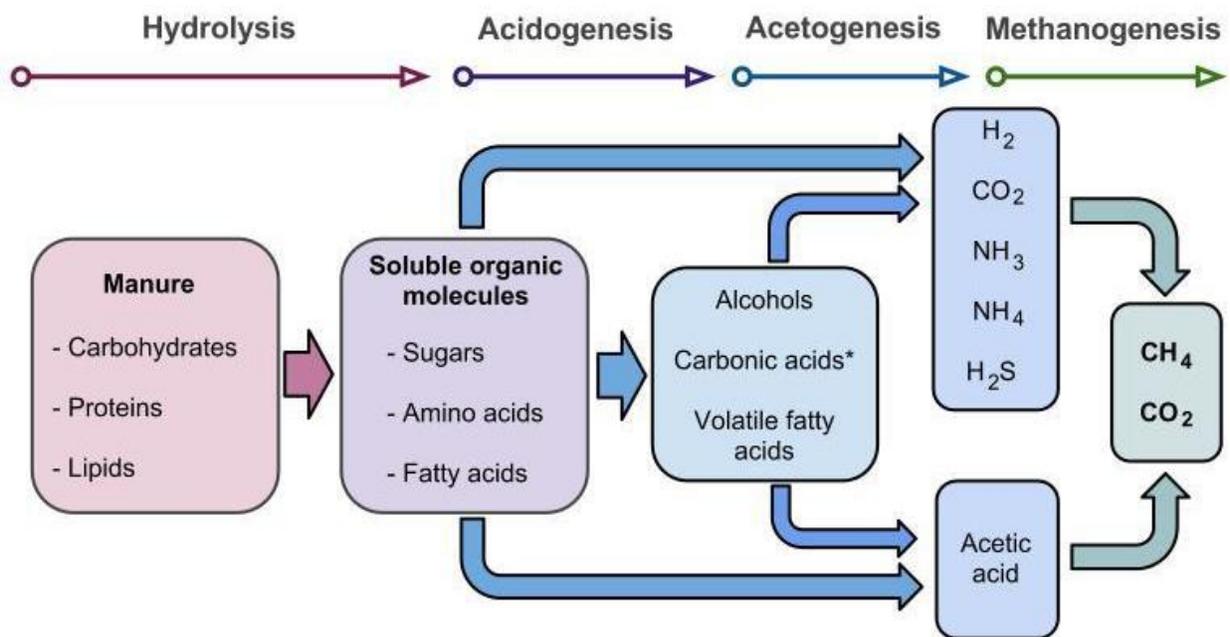


Figure II.2: Les étapes biochimiques.

II.1.3. Micro-organismes impliqués :

Chaque phase du processus de digestion anaérobie est assurée par un groupe spécifique de micro-organismes : les bactéries hydrolytiques, acidogènes, acétogènes, ainsi que les archées méthanogènes. La coopération entre ces différents groupes est essentielle pour assurer la stabilité et l'efficacité du processus biologique [3].

II.1.4. Conditions opératoires optimales :

Tableau II.4: Les principaux paramètres influençant le rendement de la méthanisation [4].

Paramètre	Plage ou condition optimale
Température	Trois régimes : <ul style="list-style-type: none"> • Psychrophile (4–15°C) : activité microbienne faible, processus lent • Mésophile (35°C optimal) : compromis entre stabilité et efficacité • Thermophile (45–70°C, optimal à 55°C) : vitesse accrue mais plus grande sensibilité aux perturbations
pH	Légèrement acide à neutre selon les étapes : <ul style="list-style-type: none"> • 5,5–6,5 pour l'hydrolyse et l'acidogénèse

	<ul style="list-style-type: none">• 6,5–7,5 pour la méthanogénèse• Régulation assurée par des tampons (ex. : bicarbonates, ammonium)
Rapport AGV/TAC	Indicateur de l'équilibre acido-basique : <ul style="list-style-type: none">• Valeur idéale entre 0,3 et 0,4 pour éviter les risques d'acidification et d'inhibition biologique
Humidité	<ul style="list-style-type: none">• Teneur minimale en eau : 13 % en masse• Niveau optimal : 70–85 % pour faciliter le transport des nutriments et assurer une bonne activité biologique
Rapport Inoculum/Substrat (I/S)	<ul style="list-style-type: none">• Utilisation d'un inoculum adapté recommandée• Ratio typique de 1:1 à 3:1 en fonction de la nature du substrat pour garantir stabilité et rendement
Rapport C/N	<ul style="list-style-type: none">• Équilibre essentiel entre sources de carbone et d'azote• Optimal entre 20 et 30• Valeur trop faible (<20) : risque d'excès d'ammoniac• Trop élevée (>30) : production de méthane réduite
Fibres lignocellulosiques	<ul style="list-style-type: none">• Teneur élevée en lignine limite la biodégradabilité• Des prétraitements mécaniques peuvent améliorer l'accessibilité aux micro-organismes

II.1.5 Substrats utilisés pour la méthanisation :

II.1.5.1 Classification des déchets adaptés à la méthanisation :

- **Déchets organiques biodégradables :**

Ces déchets incluent les résidus alimentaires, les déchets de cuisine et les déchets verts tels que les épluchures de fruits et légumes, les herbes et les feuilles. Ces matériaux sont particulièrement appropriés à la méthanisation en raison de leur forte teneur en matière organique.

- **Déchets ménagers d'origine organique :**

Ces déchets, généralement collectés par les municipalités, correspondent aux ordures ménagères assimilables, riches en matière organique, et constituent une source importante pour la production de biogaz.

- **Déchets agricoles :**

Ils regroupent les résidus issus des cultures, les déchets de récolte, ainsi que les sous-produits de l'élevage, tels que le fumier et l'urine, tous susceptibles d'être valorisés par la méthanisation.

- **Déchets issus de l'industrie agroalimentaire :**

Comprennent les résidus des usines de transformation alimentaire, notamment ceux des secteurs laitiers, des conserves, et d'autres industries liées à l'alimentation.

- **Boues des stations d'épuration :**

Ces boues contiennent des matières organiques en quantité suffisante pour être traitées par méthanisation [5].

II.1.5.2 Déchets à éviter dans la méthanisation :

- **Déchets non biodégradables :**

Il s'agit des déchets comme les plastiques, les métaux et le verre, qui ne subissent pas de dégradation biologique et ne sont donc pas compatibles avec la méthanisation.

- **Déchets toxiques ou inhibiteurs :**

Les déchets contenant des substances chimiques dangereuses telles que des produits chimiques corrosifs, des métaux lourds ou des antibiotiques peuvent nuire à l'activité des micro-organismes méthanogènes et doivent être exclus [5].

II.1.6. Caractéristiques spécifiques des déchets alimentaires universitaires :

Une étude à Adrar (Algérie) a démontré que les déchets alimentaires universitaires (épluchures, riz, pommes de terre) sont facilement biodégradables. Le rendement atteint 56,66 ml/g de matière organique et un taux de dégradation de 76,33 % en 11 jours [6].

II.2. Le Biogaz un produit de la méthanisation et ses usages énergétiques :

II.2.1. Définition :

Le biogaz désigne un mélange gazeux principalement constitué de méthane (CH_4) et de dioxyde de carbone (CO_2), produit par la dégradation biologique de matières organiques d'origine végétale ou animale en absence d'oxygène. Ce processus, appelé fermentation anaérobie ou

méthanisation, résulte de l'activité de micro-organismes qui transforment les substrats en énergie sous forme gazeuse [7].

II.2.2. Composition typique :

La composition chimique du biogaz varie en fonction de plusieurs paramètres tels que la nature du substrat utilisé, sa demande chimique en oxygène (DCO), la fréquence d'alimentation du digesteur, la température de fermentation, ainsi que la qualité du mélange et la durée de séjour dans le réacteur. Des facteurs supplémentaires influencent également la quantité et la qualité du biogaz produit : le pH, la teneur en matière sèche, le rapport C/N, la granulométrie et l'homogénéité du substrat. Il composé de méthane (CH_4) 50 à 70 %, dioxyde de carbone (CO_2) 30 à 50 %, sulfure d'hydrogène (H_2S) 0 à 8 %, azote (N_2) 0 à 20 %, monoxyde de carbone (CO) traces [7].

II.2.3. Usages et valorisation énergétique :

Le biogaz peut être valorisé selon différentes voies énergétiques, offrant ainsi plusieurs possibilités d'exploitation. Il peut d'abord être utilisé pour la production de chaleur seule, en tant que combustible dans une chaudière classique. Une autre option consiste en la production séparée de chaleur et d'électricité, où une partie du biogaz est utilisée pour générer de la chaleur, tandis que l'autre alimente un moteur thermique couplé à un alternateur pour produire de l'électricité. La cogénération, ou production combinée, permet quant à elle d'alimenter un moteur qui produit simultanément de l'électricité et de la chaleur, cette dernière étant récupérée à partir des gaz d'échappement et du système de refroidissement. Le biogaz peut également être valorisé par injection dans le réseau gazier : après purification, il est transformé en biométhane, compatible avec le réseau de distribution de gaz naturel. Enfin, il peut servir de carburant pour véhicules ; par exemple, une unité traitant 20 000 tonnes de déchets organiques par an peut générer suffisamment de carburant pour faire rouler 2000 voitures sur 10 000 km par an, ce qui équivaut à un kilomètre parcouru par voiture pour chaque kilogramme de déchets organiques [7].

II.3. La fermentation sombre :

II.3.1. Définition et fonctionnement :

La fermentation sombre est un processus biologique anaérobie dans lequel des bactéries fermentaires décomposent des substrats organiques simples, tels que les sucres, les acides aminés ou les déchets agroalimentaires, en absence totale de lumière. Ce mécanisme conduit à la production de biohydrogène, accompagné de sous-produits tels que le dioxyde de carbone (CO₂), des acides gras volatils comme l'acétate et le butyrate, et parfois de l'éthanol. Cette méthode se distingue par sa rapidité, sa simplicité technologique et son potentiel élevé pour valoriser énergétiquement les biodéchets, s'inscrivant ainsi dans une logique d'économie circulaire [8].

II.3.2. Micro-organismes et conditions opératoires :

La fermentation sombre repose sur l'activité de bactéries fermentaires capables de dégrader la matière organique en absence totale de lumière. Des genres bactériens tels que Clostridium, Enterobacter, Bacillus et Lactobacillus sont fréquemment impliqués dans ce processus. Pour optimiser la production de biohydrogène, certaines conditions opératoires doivent être respectées [8] :

Tableau II.2 : Les micro-organismes et conditions opératoires de la fermentation sombre [8].

Élément	Détails
Micro-organismes	Clostridium spp., Enterobacter spp., Bacillus spp., Lactobacillus spp. typiques
Température optimale	Entre 30 et 40°C pour les conditions mésophiles, et entre 50 et 60°C pour les conditions thermophiles.
pH optimal	Compris entre 5,5 et 6,5.
Substrats utilisés	Sucres simples, acides aminés, et déchets organiques biodégradables.
Conditions d'anaérobiose	Absence totale d'oxygène
Produits principaux	Hydrogène (H ₂), dioxyde de carbone (CO ₂), et acides gras volatils tels que l'acétate et le butyrate.
Inhibiteurs possibles	Accumulation d'acides gras volatils, pH acide, et concentration excessive du substrat.

Ces paramètres influencent directement le rendement et la stabilité du processus de fermentation sombre.

II.4. Comparaison entre fermentation sombre et méthanisation :

Le tableau suivant présente une comparaison synthétique entre la fermentation sombre et la méthanisation.

Tableau II.3 : Comparaison entre fermentation sombre et méthanisation [8] [9].

Critère	Fermentation sombre [8]	Méthanisation [9]
Rendement	1 à 3 mol H ₂ / mol de glucose	Environ 0,35 m ³ CH ₄ / kg de matière organique
Vitesse du processus	Rapide : de quelques heures à quelques jours	Lente: entre 15 et 30 jours
Conditions opératoires	pH acide (5,5–6,5), température mésophile (30–40 °C)	pH neutre (6,8–7,5), température mésophile ou thermophile (35–55 °C)
Application principale	Production de biohydrogène	Production de biogaz (CH ₄ + CO ₂)
Aspects économiques	Technologie simple et à faible coût, mais rendement énergétique limité	Investissement initial élevé, mais meilleure valorisation énergétique à long terme

II.5. Exemples de projets nationaux sur la méthanisation en Algérie :

II.5.1. Projet expérimental de biogaz à Batna :

Un projet expérimental de production de biogaz a été mis en œuvre au niveau du Centre d'Enfouissement Technique (CET) de Hamla 2, dans la wilaya de Batna. Ce projet, centré sur la valorisation des déchets ménagers organiques, vise à produire une énergie renouvelable tout en promouvant une gestion durable des déchets. Cette initiative pourrait servir de modèle pour le développement de projets similaires dans d'autres régions du pays [10][11].

II.5.2. Start-up Green AL :

La start-up algérienne Green AL, fondée par l'ingénieure Kheira Nawel Benaissa, a développé une solution innovante basée sur l'utilisation de biodigesteurs mobiles. Ces dispositifs sont conçus pour produire du biogaz dans des zones rurales ou isolées, notamment dans le Sud algérien, où l'accès à l'énergie est limité. Le projet a suscité un intérêt notable à l'échelle régionale et internationale, notamment en Afrique et en Europe. [12].

II.5.3. Projet de méthanisation à Oued Semar (Alger) :

Dans le cadre d'un programme de réhabilitation environnementale, le site de la décharge d'Oued Semar, à Alger, fait l'objet d'un projet de captage et de valorisation du biogaz issu de la décomposition des déchets organiques. Cette démarche s'inscrit dans une stratégie de transition énergétique visant à réduire l'impact environnemental des déchets tout en exploitant leur potentiel énergétique [13].

II.6. Conclusion :

La valorisation énergétique des déchets organiques à travers la méthanisation et la fermentation sombre représente une alternative technologique prometteuse face aux défis environnementaux et énergétiques actuels. Ces procédés biologiques, en convertissant les biodéchets en biogaz ou en biohydrogène, permettent de réduire considérablement la charge polluante tout en générant une énergie renouvelable. Cette intégration s'inscrit pleinement dans une dynamique de développement durable et d'économie circulaire [14].

Références bibliographiques

- [1] Abdelouahab, B., & Khiar, M. S. (2023). *Conception d'un condensateur de gaz méthane issu d'un méthaniseur* [Projet de fin d'études (Master)]. Université Belhadj Bouchaib - Aïn Témouchent, Faculté des Sciences et de la Technologie, Département d'Électrotechnique.
- [2] Hajji, N., Pons, M.N., Renaudain, V., & Houas, A. (2010). Production du biogaz par digestion anaérobie : aspects technologiques et environnementaux. Communication présentée au Séminaire de l'École Doctorale RP2E « Ingénierie des Ressources, Procédés, Produits et Environnement ».
- [3] Aboufotouh, A. M. (2013). ADM1 simulation of the mesophilic anaerobic digestion of mixture of primary and secondary sludge treated by effective microorganisms. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 2(10).
- [4] Dujany, A. (2021). *Conception de réacteurs de laboratoire et développement d'approches numériques pour l'optimisation du procédé de méthanisation en voie solide et discontinu : plans d'expériences mixtes et bootstrapping, modélisation couplée hydrodynamique et biochimique* [Thèse de doctorat]. Sorbonnes Universités ; Université de Technologie de Compiègne (UTC).
- [5] Gendouzi, B. (2021). *Réalisation d'un prototype pour valorisation des déchets ménagers* [Mémoire de Master académique en Génie chimique]. Université Kasdi Merbah Ouargla, Faculté des sciences appliquées, Département de Génie des procédés.
- [6] Djaafri, M., Kaloum, S., Khelafi, M., Tahri, A., Salem, F., Kaidi, K., Bensmail, L., Barako, O., Kadri, A., & Amrouche, A. (2014). Méthanisation des déchets organiques issus de la résidence universitaire de l'université Africaine de la ville d'Adrar Sud-Ouest de l'Algérie (Methanation of organic waste issued from African university campus in Adrar city, southwestern Algeria). *Journal of Materials and Environmental Science*, 5(S2), 2484–2488. ISSN 2028-2508.
- [7] Boudabia, H., & Dahou, K. (2019). *Valorisation de la fraction organique des résidus agricoles et sous-produits oléicoles par la co-méthanisation* [Mémoire de Master en Génie chimique]. Université de Ghardaïa, Faculté des Sciences et Technologies, Département des Sciences et Technologie.
- [8] Mahfouf, E., & Derbal, K. (2023). *Utilisation des déchets organiques biodégradables pour la production de biohydrogène par fermentation obscure* [Thèse de doctorat en génie des procédés pharmaceutiques]. Université Constantine 3 Salah Boubnider, Faculté de génie des procédés pharmaceutiques.

- [9] Chelha, A. (2016). *Étude technico-économique d'un projet de bio-méthanisation des déchets fermiers* [Mémoire de master]. École Nationale Polytechnique d'Alger.
- [10] El Watan. (2023). *Exploitation du biogaz à Batna : une expérience pilote au CET d'El Biar*.
- [11] Algérie Eco. (2023). *Extraction du biogaz à partir des déchets : entrée en exploitation d'un projet expérimental à Batna*.
- [12] Vepiérre, A. (2022). Green Al : créer du biogaz à partir de déchets dans les régions isolées. *Techniques de l'Ingénieur*.
- [13] Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. Réhabilitation de la décharge et valorisation du biogaz Ouled Semar (Alger). https://www.h2020.net/component/jdownloads/send/271-module-3/2437-oued-smar?option=com_jdownloads
- [14] Weilaland, P. (2010). Biogas production: current state and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85, 849–860. DOI: 10.1007/s00253-009-2246-7.

Chapitre III : Le compostage et le Vermicompostage.

III.1. Définitions :

III.1.1. Définition du compostage :

Le compostage est un processus naturel de dégradation ou de décomposition de la matière organique par les micro-organismes dans des conditions bien définies. Les matières premières organiques, telles que les résidus de culture, les déchets animaux, les restes alimentaires, certains déchets urbains et les déchets industriels appropriés, peuvent être appliquées aux sols en tant que fertilisant, une fois le processus de compostage terminé [1].

III.1.2. Définition du compost :

Le compost est le produit final issu du processus de compostage. Il s'agit d'une matière organique stabilisée, hygiénisée, de texture proche du terreau et de couleur brun foncé, riche en composés humiques bénéfiques pour les sols. Lorsque ce processus de décomposition est réalisé avec l'intervention de vers de terre, en synergie avec les micro-organismes, on parle alors de vermicompost [2].



Figure III.1: Compost [2].

III.2. Principe du compostage :

Le compostage repose sur l'activité microbienne qui décompose les matières organiques en présence d'oxygène, générant chaleur, dioxyde de carbone (CO₂) et eau. Ce processus passe par plusieurs phases :

III.2.1. La phase mésophile :

Il s'agit de la phase initiale du processus de compostage. Au cours des premiers jours, la dégradation des matières organiques facilement biodégradables entraîne une intense activité microbienne, principalement assurée par les bactéries et les champignons. Cette activité biologique génère une importante production de chaleur, provoquant une élévation rapide de la température au cœur du compost.

III.2.2. La phase thermophile :

Très vite la température atteint des valeurs de 60°C voire 75°C. Cette phase est appelée phase thermophile car seuls les micro-organismes thermorésistants (essentiellement des bactéries) peuvent survivre à ces hautes températures. Au cours de cette phase, une part importante de matière organique est perdue sous forme de CO₂, et un assèchement du compost lié à l'évaporation de l'eau est souvent observé.

III.2.3. La phase de refroidissement :

A la phase thermophile succède la phase de refroidissement Cette phase suit la phase thermophile du compostage. Elle débute lorsque la quantité de matière organique facilement dégradable diminue, entraînant une baisse de l'activité microbienne. La chaleur produite par les micro-organismes devient alors inférieure aux pertes thermiques dues aux échanges avec l'environnement et à l'évaporation. Cela provoque une baisse progressive parfois rapide selon les conditions climatiques ou la taille du tas de compost de la température au sein du compost. Durant cette étape, des micro-organismes mésophiles recolonisent progressivement le milieu.

III.2.4. La phase de maturation :

Au cours de la dernière phase appelée phase de maturation, les processus d'humification prédominent, ainsi que la dégradation lente des composés résistants. Cette phase de maturation dure jusqu'à l'utilisation des composts [3].

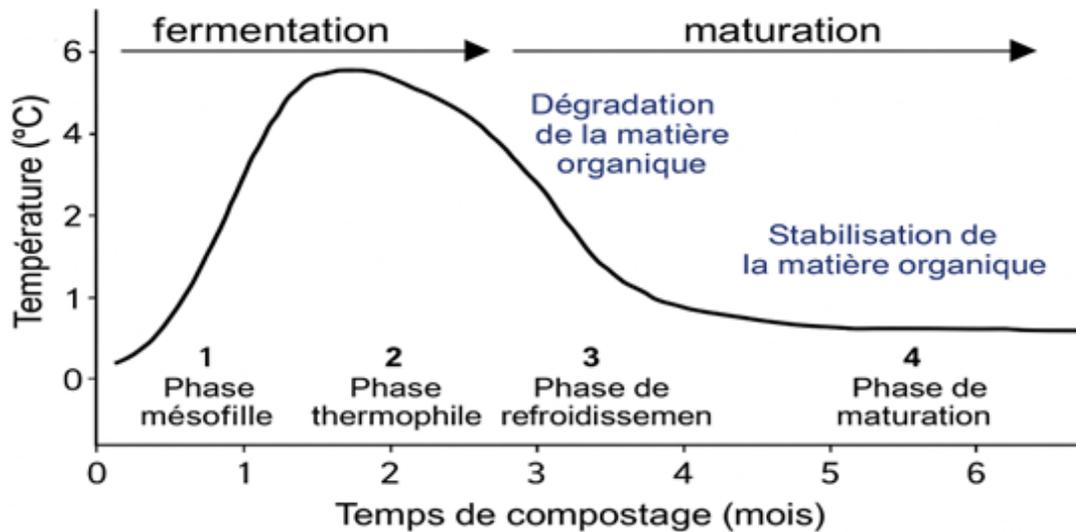


Figure III.2: Courbe théorique de l'évolution de la température au cours du compostage [3].

III.3. Les Facteurs influençant le compostage :

Plusieurs paramètres doivent être contrôlés pour assurer un compostage efficace. Le rapport Carbone/Azote (C/N) doit idéalement se situer entre 25 et 35 ; un excès de carbone ralentit la décomposition, tandis qu'un excès d'azote favorise les mauvaises odeurs. La teneur en humidité doit être maintenue entre 40 et 60 % afin de favoriser l'activité microbienne. Une bonne aération et un apport suffisant en oxygène sont également essentiels pour éviter les fermentations anaérobies et les odeurs désagréables. Enfin, la taille des particules joue un rôle important, car une bonne granulométrie permet de trouver un équilibre entre l'aération et la rétention d'humidité [1].

III.4. Les Types de compostage :

- Compostage en andains : Déchets organiques disposés en longues piles retournées régulièrement.
- Compostage en silos ou bacs : Système fermé, plus adapté aux petites quantités.
- Compostage en réacteur fermé : Permet un contrôle précis des conditions de compostage (température, oxygène, humidité).
- Vermicompostage : Utilisation de vers de terre pour accélérer la décomposition et produire un compost riche en nutriments [4].

III.5. Généralités sur le vermicompostage :

Le vermicompostage est une méthode très efficace de conversion des déchets organiques solides en une ressource précieuse, utile et respectueuse de l'environnement. C'est un processus accéléré qui implique la bio-oxydation et la stabilisation des déchets à la suite des interactions entre certaines espèces de vers de terre et de microorganismes. Ainsi, le vermicompost, qui est le produit final est un matériau stabilisé, finement divisé, ressemblant à de la tourbe, présentant un faible rapport C/N, une porosité élevée et une capacité de rétention en eau qui contient la plupart des nutriments sous forme facilement assimilables par les plantes.

Le processus de vermicompostage comprend deux phases importantes en fonction de l'activité du ver de terre. On distingue une phase active au cours de laquelle le ver de terre transforme le substrat organique, modifiant ainsi son état physique et sa composition microbienne, et une phase de maturation marquée par la migration des vers de terre vers des couches de substrat plus fraîches non digérées.

Durant cette phase, les micro-organismes prennent en charge la décomposition du substrat déjà digéré par les vers de terre. La durée de la phase de maturation n'est pas fixe, elle dépend de l'efficacité avec laquelle se déroule la phase active du processus, qui est elle-même déterminée par l'espèce et la densité des vers de terre dans le compost. L'activité immédiate des vers de terre améliore considérablement la minéralisation du carbone et de l'azote dans le substrat et ces effets sont proportionnels à la densité des vers de terre présents dans les déchets. En alimentant les vers avec de la matière organique, certaines bactéries qui jouent un rôle utile dans la décomposition des déchets organiques s'associent à ceux-ci et accélèrent le processus de dégradation.

C'est ainsi que pendant le passage de la matière organique dans l'intestin du ver de terre, les fragments et les excréments riches de ces bactéries sont mélangés pour homogénéiser la matière. Pour un tas de compost d'une dimension de 2,4 m × 1,2 m × 0,6 m de haut, il faut une population de vers de terre d'environ 50 000 individus. Leur ensemencement dans le compost favorise le mélange de la matière, l'aération et l'accélération du processus de décomposition [5].

III.5.1. Paramètres influençant le vermicompostage :

Le vermicompostage repose sur un équilibre délicat entre plusieurs facteurs essentiels. La température idéale se situe entre 15 et 25 °C, permettant aux vers de rester actifs sans stress thermique. L'humidité doit être maintenue entre 75 % et 85 %, comparable à une éponge bien

essorée. Une bonne aération est cruciale pour éviter les mauvaises odeurs et favoriser l'activité microbienne, cela peut être obtenu en remuant régulièrement le compost et en ajoutant des matières brunes comme du carton. Le pH du milieu doit rester proche de la neutralité (entre 6 et 7) pour ne pas perturber les vers. Un rapport carbone/azote (C/N) équilibré, autour de 25/1, est également important pour une décomposition optimale.

Voici un tableau synthétique reprenant les principaux paramètres influençant le vermicompostage [6].

Tableau III.1: Les principaux paramètres influençant le vermicompostage [6].

Catégorie	Paramètre	Plage optimale / Remarque
Physique	Humidité	60 – 90 % (\approx éponge essorée)
	Température	20 – 27 °C (tolérance 13 – 35 °C)
	Aération	Perçage de trous + brassages réguliers
	Taille des particules	2 – 5 cm
Chimique	PH	6,0 – 7,0
	Rapport C/N	25 – 30: 1
	Conductivité (EC)	< 2 mS/cm
Biologique	Espèces de vers	<i>Eisenia fetida</i> , <i>Eisenia andrei</i>
	Population microbienne	Équilibre bactéries aérobies / champignons
Opérationnel	Charge organique	\leq 50 % du poids sec des vers/jour
	Types de déchets	Épluchures, marc de café éviter graisses et agrumes
	Design du bac	Bac opaque, drainage et plateaux superposés

III.5.2. L'absence de la phase thermophile (Dégradation à température ambiante) :

Contrairement au compostage traditionnel qui passe par une phase thermophile (température supérieure à 40°C) favorisant l'activité de bactéries thermophiles, le vermicompostage se déroule à température ambiante, généralement entre 15°C et 25°C. Cette spécificité permet de préserver un riche écosystème microbien et les nutriments sensibles à la chaleur, tout en mobilisant l'action conjointe des vers de terre et de micro-organismes mésophiles pour obtenir un amendement organique de haute qualité [7].

Tableau III.2: Une comparaison avec le compostage traditionnel.

Critère	Compostage thermophile	Vermicompostage (mésophile)
Température	40–70 °C	15–25 °C
Micro-organismes dominants	Bactéries thermophiles	Vers + bactéries mésophiles
Destruction pathogènes	Élevée	Variable (selon inoculat et durée)
Gestion	Retour, surveillance thermique	Apports réguliers de déchets
Qualité du produit final	Moins micro-actif, plus “mûr”	Riche en enzymes et microbes vivants

III.5.3. Présentation des vers de terre :

Les lombricidés (ou appelés aussi vers de terre, vers composteur) sont des métazoaires, triploblastes coelomates et protostomiens, font partie des Annélides qui sont principalement représentés dans les écosystèmes terrestres par les vers de terre de la classe des oligochètes, représentant une composante majeure du macrofaune du sol puisque, dans la plupart des écosystèmes terrestres, ils dominent en biomasse.

**Figure III.3 :** Vers de terre.

D’après Lavelle et Spain (2001) les lombriciens (vers de terre) sont des animaux qui appartiennent au macrofaune du sol. Ils se distinguent par une anatomie allongée et circulaire. Leurs corps sont constitués par une série de nombreux anneaux successifs appelés métamères (de 60 à 200), lesquels ont tous une anatomie à peu près semblable et se répétant régulièrement. Le

corps est annelé, composé d'anneaux. Le premier segment est appelé Prostomium, le second Peristomium et le dernier Pygidium. Comme tous les oligochètes terrestres les vers de terre n'ont ni yeux, ni tête distincte. Cependant ils possèdent une forte densité de cellules sensorielles [8].

III.5.3.1. La taille :

Selon les catégories écologiques, les vers de terre sont classés en 3 groupes : les épigés sont des espèces de petite taille de 1-5 cm. Ils évoluent dans les premiers centimètres du sol, brassant et fractionnant la matière organique, les endogés qui ont des tailles variables entre 1 et 20 cm. ils vivent constamment dans le sol, ils créent des réseaux de galeries horizontaux très ramifiés et se nourrissent de matière organique déjà dégradée ; enfin les anéciques sont des espèces de grande taille de 10 à 110 cm. Ils évoluent verticalement, creusant des galeries pouvant descendre jusqu'à 3 m. Ils mélangent la matière organique à la matière minérale et rejettent leurs déjections à la surface du sol, sous forme de turricules.

III.5.3.2. Coloration :

Les vers de terre ont une large gamme de couleur. D'après Vigot et Cluzeau (2014) et Peres (2011), les épigés sont de couleur foncée, les endogés sont très peu colorés à apigmentés gris, rose ou vert. Les anéciques dont les couleurs varient du rouge au brun, avec couramment un gradient de couleur de la tête vers la queue. Selon Bachelier (1978), les vers de surface apparaissent plus pigmentés que ceux qui vivent en profondeur Les vers des régions relativement sèches sont souvent de couleur plus sombre que les vers des régions humides [9].

III.5.4. Indicateurs de maturité du compost :

Indicateurs physiques : La température interne du compost diminue progressivement après la phase thermophile (sans vers de terre), pour se stabiliser à une température ambiante comprise entre 15 et 30 °C, signe que l'activité microbienne intense a cessé et que le compost entre dans sa phase de maturation. Visuellement, le compost mûr présente une couleur allant du brun foncé au noir, avec une texture fine, homogène et friable, sans éléments reconnaissables des déchets d'origine. Au niveau olfactif, il dégage une odeur agréable et douce, rappelant celle de l'humus ou du sous-bois, ce qui témoigne d'une décomposition complète et réussie [10].

Indicateurs chimiques : Le pH évolue progressivement vers des valeurs neutres ou légèrement alcalines, se stabilisant généralement entre 7 et 8. Cette évolution reflète l'équilibre atteint entre les processus de dégradation acide et la formation de composés plus stables. Parallèlement, le rapport carbone/azote (C/N), qui peut être élevé au début du compostage en raison de la présence de matières riches en carbone, diminue progressivement au fur et à mesure que les micro-organismes consomment le carbone pour leur énergie et l'azote pour la synthèse de leurs protéines. Un rapport C/N compris entre 10 et 15 est généralement considéré comme optimal pour un compost mature, indiquant une bonne disponibilité de l'azote pour les plantes et une matière organique bien décomposée [11].

Indicateurs biologiques : Le test de germination, souvent réalisé avec des graines de cresson ou de radis, consiste à mesurer l'indice de germination (IG) dans un extrait aqueux de compost. Un IG supérieur à 60 % est généralement considéré comme le seuil indiquant que le compost est mûr et non phytotoxique.

La mesure de la respiration microbienne : est un indicateur direct de l'activité biologique. Un taux de respiration stable et faible, inférieur à 2–5 mg CO₂-C/g de matière sèche par jour, signale un compost stabilisé. Le test Solvita, quant à lui, attribue un score de 1 à 8 en fonction des émissions de CO₂ et de NH₃. Des valeurs égales ou supérieures à 6 indiquent généralement un compost stable et prêt à l'emploi, avec des concentrations résiduelles d'ammoniac faibles et des acides organiques réduits.

Enfin, l'émergence d'une signature enzymatique stabilisée, notamment des activités de phosphatases et de cellulases, corrélée à la diminution du substrat labile, renseigne sur l'atteinte d'une étape finale de maturation. Ces enzymes sont impliquées dans la dégradation de la matière organique, et leur stabilisation indique une activité microbienne réduite, caractéristique d'un compost mature [12].

III.6. Conclusion :

le compostage et le vermicompostage sont deux méthodes efficaces de valorisation des déchets organiques. La première repose sur des températures élevées pour une dégradation rapide, tandis que le second utilise les vers de terre à température modérée pour produire un compost riche et stable. Leur réussite dépend du bon équilibre entre humidité, aération et rapport carbone/azote.

Références bibliographique

- [1] Azim, K., Souidi, B., Boukhari, S., Perissol, C., Roussos, S., & Thami Alami, I. (2018). Composting parameters and compost quality: a literature review. *Organic Agriculture*, 8, 141-158.
- [2] Djebari, I. (2020). *Contribution à l'étude de pouvoir antagoniste d'un compost* [Master's thesis].
- [3] Mabrouki, S., & Bellaoui, K. (2022). *Étude bibliographique sur la valorisation énergétique des déchets de palmier dattier*. Université Ahmed Draïa, Adrar.
- [4] Snabes, A. (2021). *The scoop on composting : A comprehensive literature review on composting with a focus on Grand Valley State University*.
- [5] Liegui, G. S. (2019). *Production intégrée et préservation des ressources naturelles en milieu urbain et péri-urbain* [Master's thesis, Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech].
- [6] Laref, A., & Misseraoui, M. A. (2021). *Valorisation des déchets végétaux et des déchets de restauration par compostage et lombricompostage* [Master's thesis, Université Blida 1, Département du Génie des Procédés].
- [7] Ali, U., Sajid, N., Khalid, A., Riaz, L., Rabbani, M. M., Syed, J. H., & Malik, R. N. (2015). A review on vermicomposting of organic wastes. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 34(4), 1050-1062.
- [8] Krarraz, Y. (2022). *L'effet du sol sur la présence des vers de terres* [Master's thesis, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie].
- [9] Kemassi, S. (2015). *Étude de l'impact des vers de terre sur l'évolution de la matière organique en régions sahariennes : Cas de la cuvette de Ouargla* [Master's thesis].
- [10] Wichuk, K. M., & McCartney, D. (2010). Compost stability and maturity evaluation—a literature review. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 37(11), 1505-1523.
- [11] Liegui, G. S., et al. (2019). Vermicompostage : Une alternative durable de valorisation des déchets organiques ménagers en maraîchage périurbain à Yaoundé (Cameroun).
- [12] Liegui, G. S. (2019). *Production intégrée et préservation des ressources naturelles en milieu urbain et péri-urbain* [Master's thesis, Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech].

Chapitre IV : Matériels et méthodes

IV.1. Introduction :

Ce chapitre est consacré à la valorisation de plusieurs types de déchets organiques par le vermicompostage. Pour ce faire, nous avons utilisé différents mélanges constitués par plusieurs types de substrats et de co-substrats. Un suivi régulier des paramètres physico-chimiques a été fait afin de suivre l'évolution des vermicomposts.

IV.2. Site expérimental :

Le vermicompostage a été réalisé à la Faculté des Sciences et de la Technologie de l'Université 8 Mai 1945 de Guelma. La wilaya de Guelma est située dans le nord-est de l'Algérie. Elle est limitée au nord par les wilayas d'Annaba et d'El Tarf, à l'ouest par la wilaya de Constantine, au sud par la wilaya d'Oum El Bouaghi et à l'est par la wilaya de Souk Ahras. La superficie globale de la wilaya de Guelma est de 3 686,84 km², répartie sur un total de 34 communes.



Figure IV.1: Localisation de l'université de Guelma.

Le climat de Guelma est de type méditerranéen chaud. Les hivers y sont doux et pluvieux, tandis que les étés sont chauds et secs. La température moyenne annuelle à Guelma est d'environ 17,2 °C. La pluviométrie annuelle moyenne varie de 400 à 500 mm dans le sud de la wilaya jusqu'à près de 1000 mm dans le nord. Le mois de juillet est généralement le plus sec, avec seulement 3 mm de précipitations, tandis que janvier est le mois le plus pluvieux, enregistrant en moyenne 85 mm de précipitations.

IV.3. Matériels et Méthodes expérimentales :

IV.3.1. Etude de la matière première :

Dans la phase préliminaire de notre projet, une étude exploratoire a été réalisée au sein du restaurant universitaire de la Faculté des Sciences et de la Technologie de l'Université 8 Mai 1945-Guelma, dans le but d'évaluer la quantité réelle de déchets organiques générés lors de la préparation des repas (petit-déjeuner, déjeuner, dîner).

Grâce à la collaboration de l'administration du restaurant, nous avons pu obtenir des données précises sur les quantités d'aliments préparés ainsi que sur les pertes associées, pour un effectif d'environ 600 étudiants. Il convient de préciser que l'étude s'est exclusivement concentrée sur les déchets produits en cuisine lors de la phase de préparation (épluchures, parties non comestibles, etc.), sans inclure les restes alimentaires non consommés par les étudiants après chaque repas.

Il est également important de noter que les aliments mentionnés dans le tableau ci-dessous ne sont pas tous servis avec la même fréquence : certains, comme les salades (laitue, tomate, concombre), sont préparés quotidiennement, tandis que d'autres, tels que les pommes de terre ou les carottes, apparaissent deux à trois fois par semaine. Certains produits ne sont servis qu'une seule fois dans la semaine. Cette diversité de fréquence se traduit par une variation du volume des déchets générés au quotidien, ce qui nous a permis d'établir une vision plus précise du gisement récupérable et valorisable.

Le tableau suivant présente un aperçu des principaux produits alimentaires utilisés, des quantités préparées, des pertes enregistrées ainsi que du pourcentage de gaspillage :

Tableau IV.1 : Quantités servies et déchets générés lors de la préparation des repas pour 600 étudiants.

Aliment	Quantité servie	Quantité jetée	Pourcentage de pertes
Pomme de terre	180kg	18–20 kg	10 %
Carotte	35 kg	5 kg	~15 %
Concombre	20 kg	4 kg	20 %
Fenouil	25 kg	5 kg	20 %
Œufs	600	/	/
Salade	50 kg	10 kg	20 %
Banane	120 kg	/	/

Betterave	35 kg	5 kg	~8 %
Aubergine	40 kg	3 kg	7 %
Courgette	20–30 kg	3 kg	10 %
Tomate	20–30 kg	3 kg	10 %
Chou	30 kg	10 kg	~33 %

Cette analyse révèle une diversité significative dans les types et volumes de déchets générés, et met en lumière le potentiel réel de récupération et de valorisation. Nous avons également constaté que plus la qualité du produit brut utilisé en cuisine (produits frais, bien sélectionnés et bien conservés) est élevée, plus la quantité de déchets générés diminue. Cela montre que l'amélioration de la qualité des matières premières ainsi qu'une meilleure gestion de la préparation peuvent contribuer à réduire significativement le gaspillage organique.

Cette enquête exploratoire nous a permis de mieux cerner le gisement réel de déchets organiques dans les structures universitaires. Elle a renforcé notre conviction quant à la pertinence du projet de vermicompostage, en nous fournissant une base quantitative solide pour le lancement des expérimentations pratiques.

À partir de ces constats, des quantités représentatives de ces déchets ont été prélevées, triées puis intégrées dans le processus de vermicompostage dans le cadre de notre étude expérimentale.

IV.3.2. Étude expérimentale :

Dans le cadre de notre travail, nous avons conçu une étude expérimentale structurée autour de quatre unités de vermicompostage, désignées comme Unité 1, Unité 2, Unité 3 et Unité 4. Toutes ces unités ont suivi les mêmes étapes initiales, à savoir : la préparation de la litière, une période de pré-compostage d'environ 15 jours avant l'introduction des vers, à l'exception de l'Unité 4.

À partir de la phase suivante, chaque unité a été soumise à une condition spécifique dans le but d'observer l'impact de certaines variables sur l'efficacité du processus de décomposition: L'Unité 1 a reçu 20 g de vers *Eisenia fetida*, sans aucun apport supplémentaire de déchets au cours de l'expérimentation.

L'Unité 2 a été enrichie avec 50 g de vers, soit le double de la quantité utilisée dans l'unité 1, mais sans ajout ultérieur de matière organique.

L'Unité 3 a été alimentée avec les mêmes quantités de litière et de matière organique que l'unité 1, mais avec une particularité : la matière organique a été finement mixée à l'aide d'un blender pour faciliter sa biodégradation.

L'Unité 4 s'est distinguée par l'introduction simultanée des vers (100 g) et de la matière organique dès le premier jour, avec des apports réguliers de substrat pendant toute la durée de l'essai.

Cette méthodologie expérimentale nous a permis d'analyser de manière comparative l'évolution des paramètres physico-chimiques, la dynamique de transformation organique et la qualité finale du vermicompost produit selon les configurations spécifiques appliquées à chaque unité.

Première étape collecte et tri des déchets organiques:

Les restes de nourriture ont été collectés et triés en retirant les matières impropres au compostage, comme la viande, les graisses, les agrumes, les oignons et l'ail, pour éviter d'attirer les insectes ou d'affecter négativement les vers.



Figure IV.2 : Des déchets alimentaires.

Deuxième étape préparation de la litière :

D'abord, nous avons commencé par la préparation de la litière, qui constitue le milieu de vie initial des vers de compost, pour sa composition, nous avons utilisé un mélange de matériaux riches en carbone tels que les feuilles sèches et le carton ont été déchiquetés et broyés à la main pour réduire la taille des particules et augmenter leur surface de contact avec les micro-organismes.

Après une période de pré compostage d'une semaine, la litière préparée a été répartie équitablement dans quatre bacs distincts, chacun conçu pour servir de réacteur de vermicompostage. Ces bacs, identiques en dimensions et en matériaux, étaient équipés de

perforations latérales et inférieures afin d'assurer une aération optimale et un drainage efficace, conditions essentielles pour le bien-être des vers et le bon déroulement du processus de décomposition.



Figure IV.3 : La litière, le milieu de vie initial des vers.

Unité expérimentale n°1 :

Dans le premier bac, nous avons introduit 1000 g de litière, cette litière a été humidifiée pour atteindre une texture similaire à celle d'une éponge essorée.



Figure IV.4 : Litière humidifiée.

Nous avons ensuite ajouté 500 g de déchets organiques (épluchures de légumes, restes alimentaires), découpés en petits morceaux avec un couteau pour faciliter leur décomposition.



Figure IV.5: Des déchets organiques alimentaires.

Après une période de 15 jours, 20g de vers (*Eisenia fetida*) ont été introduits dans le bac (figure IV.6). Tous les deux à trois jours, le contenu du bac a été délicatement mélangé pour assurer une bonne aération, et l'humidité ainsi que la température ont été surveillées régulièrement.



Figure IV.6 : L'ajout de 20g de vers.

Unité expérimentale n°2 :

Dans le deuxième bac, nous avons introduit la même quantité de litière et de matière organique que dans la première expérience. Cependant, les déchets organiques ont été grossièrement hachés à la main, sans utiliser d'outils tranchants, ce qui a donné des morceaux plus gros. La quantité de vers de terre a également été doublée, passant à 50g.



Figure IV.7 : L'ajout de 50g de vers.

Unité expérimentale n°3 :

Dans le troisième bac, nous avons utilisé la même quantité de litière que dans les expériences précédentes, soit 1 000 g humidifiée jusqu'à obtenir une texture similaire à celle d'une éponge essorée, et de la même quantité des déchets organique 500 g, épiluchures de

légumes et les restes alimentaires que nous avons cette fois mixés à l'aide d'un blender électrique pour obtenir une texture très fine, afin de faciliter leur décomposition.



Figure IV.8 : Broyage de la matière organique.

Après une période de 15 jours, 20 g de vers de compost (*Eisenia fetida*) ont été introduits dans le bac.



Figure IV.9 : Vers de compost (*Eisenia fetida*).

Unité expérimentale n°4 :

Dans le quatrième bac, nous avons utilisé la même quantité de litière que dans l'unité n°1, La particularité de cette unité réside dans le fait que les déchets organiques et les vers de compost (*Eisenia fetida*) ont été introduits simultanément, dès le premier jour de l'expérience, contrairement aux autres unités où les vers ont été ajoutés après une période de pré-compostage. La quantité de vers introduite était plus élevée que dans les autres unités, atteignant environ 100g.



Figure IV.10 : Bac n°4.

Durant toute la durée de l'expérimentation, soit deux mois, des ajouts réguliers de déchets organiques ont été effectués en fonction des besoins des vers et de la vitesse de décomposition observée. Le contenu du bac a été régulièrement mélangé pour favoriser

l'aération, et des contrôles d'humidité ainsi que de température ont été réalisés pour garantir un environnement optimal pour le développement des vers et la transformation des déchets.

IV.4. Suivi des paramètres physico-chimiques durant le vermicompostage :

Afin de suivre l'évolution du processus de vermicompostage dans les différentes unités expérimentales, des mesures régulières ont été effectuées par nous deux sur quatre paramètres physico-chimiques considérés essentiels : la température, le pH, l'humidité et l'évaluation générale de la teneur en éléments nutritifs (la fertilité).

La température a été mesurée périodiquement à l'aide d'un thermomètre inséré manuellement dans le substrat de chaque bac. Cette méthode a permis d'observer l'évolution thermique au fil du processus, tout en veillant à ce que les conditions restent favorables au développement des vers de terre (*Eisenia fetida*).



Figure IV.11 : La mesure de la température à l'aide d'un thermomètre.

Les autres paramètres(le pH, l'humidité et la fertilité globale)ont été évalués à l'aide d'un appareil portatif spécifique qui permet de mesurer rapidement et simultanément ces trois critères. Avant chaque mesure, un mélange homogène du contenu du bac était effectué afin d'assurer la fiabilité des résultats.



Figure IV.12: Appareil de mesure.

Le tableau suivant présente l'ensemble des données relevées tout au long de la période de suivi (environ deux mois) pour les quatre unités expérimentales :

Tableau IV.2 : Évolution des paramètres physico-chimiques dans les unités expérimentales 1 et 2

Date de mesure	Unit 1				Unit 2			
	T (°C)	Humidité	pH	Fertilité	T (°C)	Humidité	pH	Fertilité
06/03/2025	23	9	4.5	Idéal	22	9	4.25	Idéal
09/03/2025	23	10	4	Idéal	22	9.4	4	Idéal
12/03/2025	23	9.75	4	Idéal	22	8	4.5	Idéal
16/03/2025	21	"Wet"	3.75	Idéal	24	"Wet"	4	Idéal
19/03/2025	22	10	4	Idéal	22	10	4	Idéal
06/04/2025	16	"Wet"	5	Idéal	18	10	4	Idéal
08/04/2025	16	6.5	5	Idéal	17	9	4.75	Idéal
14/04/2025	17	8	5	Idéal	19	8.5	5	Idéal
20/04/2025	16	8.5	5	Idéal	18	8	5	Idéal

Tableau IV.3 : Évolution des paramètres physico-chimiques dans les unités expérimentales 3 et 4

Date de mesure	Unit 3				Unit 4			
	T (°C)	Humidité	pH	Fertilité	T (°C)	Humidité	pH	Fertilité
06/03/2025	23	9.5	4	Idéal	22	9	4.2	Idéal
09/03/2025	23	10	4	Idéal	22	9.5	4	Idéal
12/03/2025	23	10	3.5	Idéal	22	10	4	Idéal
16/03/2025	23	"Wet"	3.5	Idéal	20	10	4	Idéal
19/03/2025	23	10	3.5	Idéal	20	10	4	Idéal
06/04/2025	18	8	4	Idéal	15	10	4	Idéal
08/04/2025	17	4	6	Idéal	18	8	5	Idéal
14/04/2025	17	5.5	6	Idéal	17	8.5	5	Idéal
20/04/2025	18	5	6	Idéal	17	7	5	Idéal

IV.5. Phase post-vermicompostage, récolte et traitement du compost final :

IV.5.1. Séparation des vers de terre :

Une fois le processus de décomposition achevé et les paramètres physico-chimiques stabilisés, nous avons procédé à la séparation des vers de terre (*Eisenia fetida*) du compost mûr. Pour cela, le compost a été réparti en petits tas, et exposés à une source de lumière. En raison de leur photophobie naturelle, les vers migrent vers le bas du substrat, ce qui permet de les récupérer progressivement sans les blesser.

Cette méthode manuelle, bien que chronophage, s'est révélée efficace et respectueuse de l'intégrité biologique des vers, que nous avons ensuite conservés pour de futurs cycles de compostage.

IV.5.2. Séchage du compost :

Après le retrait des vers, le compost brut a été étalé en fines couches dans des bacs ouverts, placés dans un environnement sec, ombragé et bien ventilé. Ce séchage naturel, réalisé sans exposition directe au soleil, a permis de réduire le taux d'humidité du compost tout en préservant ses propriétés microbiologiques et nutritives.



Figure IV.13 : Séchage du vermicompost.

IV.5.3. Tamisage :

Une fois sec, le compost a été tamisé à l'aide d'un crible à mailles fines afin d'éliminer les particules non décomposées ou trop grossières (fibres végétales, fragments de coquilles, etc.). Cette étape a permis d'obtenir un produit homogène, de texture fine, mieux adapté à l'utilisation agricole ou expérimentale. Le tamisage a également contribué à améliorer l'aspect visuel et la maniabilité du compost final.



Figure IV.14: Le vermicompost après le tamisage.

IV.6. Collecte d'échantillons pour analyse en laboratoire :

Après les étapes de séparation des vers, de séchage et de tamisage, des échantillons représentatifs du compost final ont été prélevés dans chaque unité expérimentale. Ces échantillons ont été placés dans des sacs propres et hermétiquement fermés afin d'assurer la préservation de leurs propriétés et d'éviter toute contamination ou perte de composés biologiques ou chimiques pendant le transport. Ils ont ensuite été envoyés à un laboratoire agréé et spécialisé pour la réalisation des analyses physico-chimiques nécessaires.



Figure IV.15 : Des échantillons.

Cette phase constitue un point crucial pour garantir la qualité du compost produit. Les analyses précises ont permis de mesurer plusieurs paramètres importants, notamment :

- Matière organique
- Carbone
- pH
- Conductivité électrique
- Solides totaux dissous (TDS)

- Éléments nutritifs essentiels tels que l'azote, le phosphore assimilable, le potassium assimilable, le sodium, le magnésium, le calcium, et le chlorure

Ces données sont utilisées pour évaluer la maturité du compost, sa stabilité chimique, ainsi que son adéquation à l'usage agricole. Elles permettent également de déterminer l'efficacité du processus de vermicompostage appliqué. Ainsi, un produit de haute qualité, respectueux de l'environnement et efficace pour l'amélioration de la fertilité des sols, est assuré.

IV.7. Conclusion :

Ce chapitre a présenté la méthodologie adoptée pour le vermicompostage de déchets organiques à l'Université de Guelma. Quatre unités expérimentales ont été mises en place pour tester différentes conditions, avec un suivi précis des paramètres comme la température, le pH et l'humidité. Après traitement, un vermicompost homogène a été obtenu, puis analysé en laboratoire pour en évaluer la qualité.

Chapitre V : Résultats et discussion

V.1. Introduction :

Ce chapitre se focalise sur l'examen des résultats que nous avons obtenus lors de notre expérimentation de vermicompostage utilisant des déchets alimentaires provenant de l'université. Dans le but de produire un vermicompost intégralement naturel, nous exposons ici la progression des paramètres physico-chimiques clés observés au cours du processus, ainsi que les conclusions des analyses effectuées en laboratoire. Une analyse comparative des quatre unités expérimentales est également suggérée, dans le but de déterminer les conditions qui ont conduit à la production du compost le plus riche et le plus stable.

V.2. L'observation visuelle des unités :

Le vermicompost présentait une couleur uniforme brun foncé, typique d'un compost mûr et riche en humus, sans aucune odeur désagréable, au contraire, il dégagait une odeur douce et terreuse rappelant le sous-bois. Nous avons aussi constaté une forte concentration de vers de terre (*Eisenia fetida*). Ainsi que la présence de quelques larves bénéfiques, ce qui témoigne d'un écosystème actif et sain [1]. Enfin, aucun résidu visible ni de débris alimentaires, ni de végétaux partiellement compostés n'a été observé, reflétant ainsi un degré élevé de décomposition organique.

V.3. Le rendement :

Chaque unité expérimentale a reçu une masse totale initiale de 1500 g (1000 g de litière + 500 g de déchets organiques). À la fin du processus de vermicompostage, nous avons obtenu environ 500 g de compost mûr par unité. Le rendement moyen est donc estimé à :

$$\text{Rendement (\%)} = (500 / 1500) \times 100 = 33,33 \%$$

Ce taux de transformation indique une efficacité satisfaisante du processus, compatible avec les valeurs généralement observées dans les conditions artisanales de compostage [2] [3].

V.4. Suivi physico-chimique durant le processus de vermicompostage :

Pour évaluer l'évolution du processus de vermicompostage dans les quatre unités expérimentales, nous avons régulièrement suivi plusieurs paramètres physico-chimiques cruciaux : la température, l'humidité, le potentiel d'hydrogène pH, ainsi qu'une évaluation indicative de la fertilité.

Les mesures ont été effectuées à intervalles réguliers pendant toute la durée de l'expérimentation. Pour chaque paramètre, des relevés ont été effectués à partir de plusieurs points au sein de chaque unité, puis les valeurs ont été moyennées afin d'obtenir une représentation globale de l'état du substrat à chaque période. En fonction des résultats observés, des ajustements ponctuels ont été appliqués immédiatement afin de maintenir un environnement favorable à l'activité biologique des *Eisenia fetida* et des micro-organismes responsables de la dégradation.

V.4.1. Température :

La température constitue un paramètre fondamental dans le processus de vermicompostage, influençant directement l'activité biologique des vers de terre (*Eisenia fetida*) ainsi que celle des micro-organismes décomposeurs [4].

Les résultats sont illustrés dans la figure suivante :

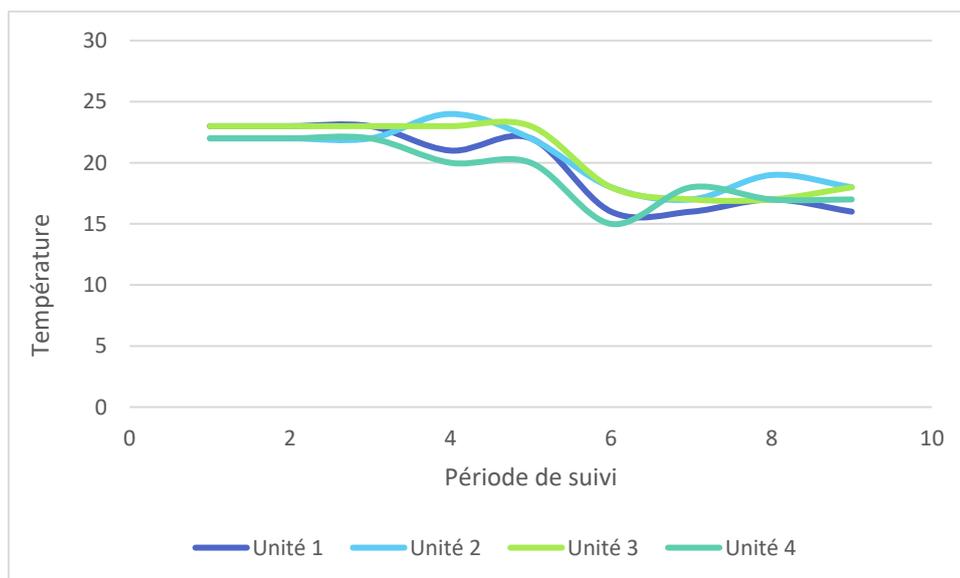


Figure V.1 : Évolution de la température au cours du processus de vermicompostage.

L'analyse du graphique révèle une stabilité thermique générale dans toutes les unités, avec des températures variantes entre 16°C et 24°C, ce qui reste dans la plage optimale du processus mésophile (15–30°C) [4]. Plus précisément :

L'unité 1 : présente une température moyenne d'environ 20°C, avec une légère baisse observée vers la fin de la période, traduisant un ralentissement de l'activité microbienne.

L'unité 2 : enregistre un pic à 24°C à la quatrième période, signe d'une activité microbienne intense, suivie d'une diminution progressive.

L'unité 3 : maintient une stabilité remarquable entre 22°C et 23°C, ce qui reflète un bon équilibre hydrique et une aération adéquate.

L'unité 4 : affiche des températures légèrement inférieures ($\approx 17-18^\circ\text{C}$) en fin de cycle, indiquant un possible ralentissement de la dégradation.

Ces résultats confirment que les conditions thermiques sont restées favorables au développement des vers et au bon déroulement du processus de décomposition, sans apparition de pics critiques susceptibles de perturber l'équilibre biologique [4].

V.4.2. Humidité :

L'humidité représente un facteur clé dans la réussite du processus de vermicompostage, influençant directement l'activité physiologique des vers de terre et le métabolisme des micro-organismes aérobies responsables de la décomposition. Un taux compris entre 70 et 90 % est généralement considéré comme optimal pour maintenir un environnement humide, mais bien aéré [5].

Le graphique ci-dessous illustre l'évolution de l'humidité moyenne enregistrée dans les quatre unités expérimentales tout au long de la période de suivi :

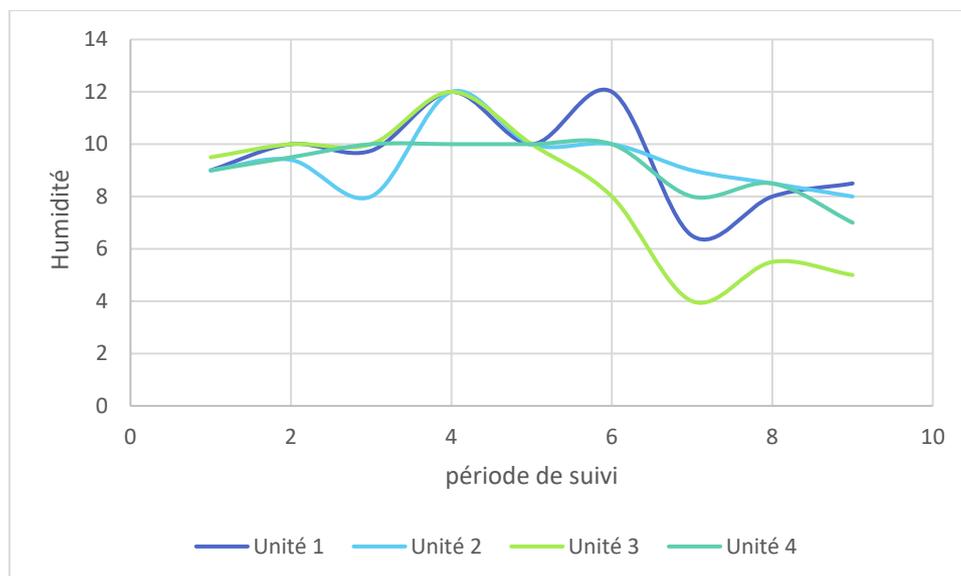


Figure V.2 : Évolution de l'humidité dans les quatre unités expérimentales.

L'analyse du graphique met en évidence plusieurs dynamiques intéressantes :

L'unités 1 et 2 : Ces deux unités ont maintenu un taux d'humidité relativement stable, oscillant autour de 9 à 10. Cela témoigne d'un bon équilibre hydrique, favorable au maintien de l'activité biologique sans provoquer de saturation en eau.

L'unité 3 : Une chute notable de l'humidité a été enregistrée à la période 7, atteignant une valeur minimale de 4. Cette situation a été rapidement détectée et corrigée par l'ajout d'eau au substrat. Le retour à des valeurs normales dès la période suivante reflète un bon suivi et une capacité d'adaptation efficace.

L'unité 4 : Elle a présenté une stabilité remarquable de l'humidité tout au long de l'expérience, avec des valeurs proches de 10. Cela indique une régulation hydrique bien maîtrisée.

Des hausses ponctuelles d'humidité, qualifiées comme "Wet", ont été observées notamment durant les périodes 4 et 6. Pour éviter la saturation, nous sommes intervenus en intégrant immédiatement des matériaux bruns secs tels que la sciure de bois et des feuilles sèches, permettant d'absorber l'excès d'humidité et de rétablir un équilibre favorable [5].

Le contrôle de l'humidité s'est avéré efficace dans l'ensemble des unités. Grâce à une surveillance régulière et des interventions ciblées (ajout d'eau en cas de dessèchement, ajout de matières sèches en cas d'excès), nous avons réussi à maintenir un substrat compatible avec l'activité des vers *Eisenia fetida* et la progression du processus biologique. L'unité 4 s'est distinguée par une grande stabilité, tandis que l'unité 3 a démontré une bonne capacité de récupération après un épisode de déficit hydrique.

V.4.3. Potentiel hydrogène pH :

Le pH est un indicateur clé de la stabilité chimique du substrat et de la maturité du compost. Il influence l'activité enzymatique et le confort des vers. En début de compostage, un pH acide est fréquent en raison de la dégradation des matières végétales fraîches, mais une neutralisation progressive est attendue avec l'évolution du processus [7].

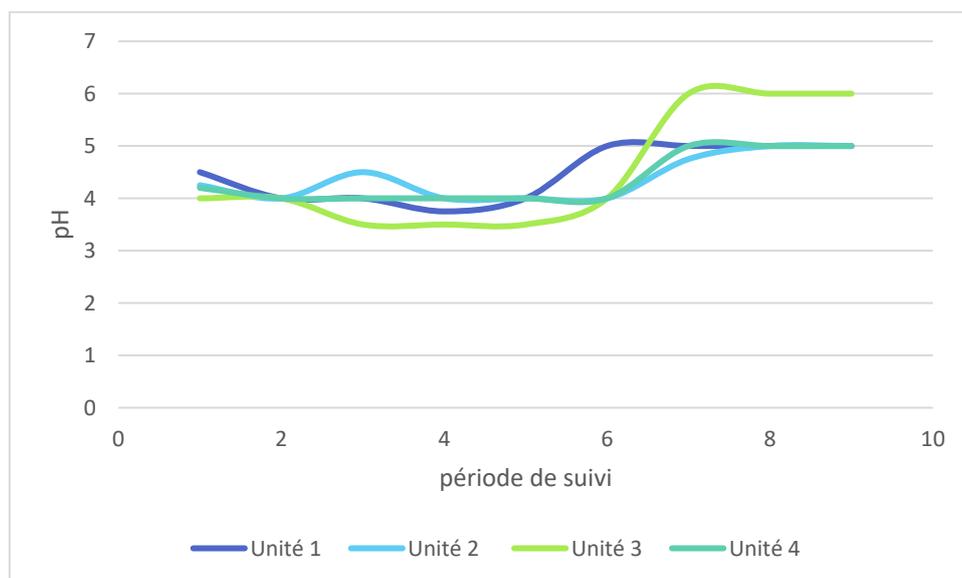


Figure V.3 : Variation du pH dans les différentes unités expérimentales.

L'analyse montre une progression significative du pH dans l'ensemble des unités : Les unités 1 et 2 évoluent de 4,5 vers 5, ce qui reste dans la zone tolérable pour *Eisenia fetida*. L'unité 3 présente une augmentation marquée jusqu'à un pH de 6, indiquant une bonne stabilisation biologique.

L'unité 4 reste relativement stable entre 4,8 et 5,2, traduisant un équilibre acido-basique maîtrisé.

Cette évolution positive confirme la maturité croissante du compost et l'efficacité du processus de neutralisation des acides organiques, sans apparition de conditions extrêmes pouvant nuire à l'activité biologique [7].

V.4.4. Teneur en NPK (Azote, Phosphore, Potassium) :

Les éléments nutritifs essentiels tels que l'azote (N), le phosphore assimilable (P) et le potassium (K) jouent un rôle fondamental dans l'évaluation de la qualité agronomique du vermicompost. Ces nutriments influencent directement la fertilité du sol, la croissance végétale et la performance des cultures [8]. Durant notre expérimentation, ces trois paramètres ont été évalués à la fois sur le terrain à l'aide d'un appareil portable, puis confirmés en laboratoire après maturation complète du compost.

Les résultats de suivi régulier sur le terrain ont montré des valeurs stables et satisfaisantes, classées comme « Idéal » tout au long des neuf périodes de suivi. Cette constance suggère que les conditions de compostage ont permis une transformation efficace de la matière organique en éléments nutritifs disponibles.

V.5. Présentation des résultats :

Les résultats des analyses de laboratoire pour les différents échantillons sont résumés dans le Tableau V.1.

Tableau V.1: Caractéristiques physico-chimiques des échantillons de compost organique et du sol témoin.

Paramètre :	Résultat:				
	Ech1	Ech2	Ech 3	Ech4	Sol
Matière organique %	44	23.42	24.78	28.38	3.89
Carbone	26	14.44	14.40	17.01	1.25
Ph	9.02	8.37	8.27	8.17	8.72

La Conductivité ms/cm	4560	2010	1504	1417	1301
TDS	3456.5	1523.6	1140.3	1074.1	986.16
Azote (mg/l)	75	66	61	56	36
Phosphore assimilable (mg/l)	43.44	35.59	31.33	26.66	11.13
Potassium assimilable (mg/l)	2412	837	1092	1474	119.1
Sodium assimilable (mg/l)	281.3	49.7	63.3	101.4	8
Magnésium (mg/l)	51.2	81.6	38.4	72.8	23.2
Calcium (mg/l)	32	40	32	36	28
Chlorure (mg/l)	479.25	266.25	372.75	514.75	17.75

V.6. Description des résultats :

Le Tableau V.1 montre que tous les échantillons de vermicompost (de Ech1 à Ech4) contiennent des proportions significativement plus élevées de matière organique et de carbone par rapport à l'échantillon de sol (Sol). L'échantillon Ech1 a enregistré les valeurs les plus élevées pour la plupart des paramètres mesurés, Ils sans également montrer des valeurs de pH alcalines, allant de 8,17 (Ech4) à 9,02 (Ech1), qui sont supérieures ou égales au pH du sol (8,72).

Concernant les sels, Ech1 a enregistré les valeurs les plus élevées pour la conductivité et le sodium, tandis qu'Ech4 a enregistré la valeur la plus élevée pour le chlorure.

V.7. Discussion des paramètres physico-chimiques :

V.7.1. Matière organique et Carbone :

La matière organique est un indicateur clé de la qualité du vermicompost. Les résultats ont montré que tous les échantillons de vermicompost produit (Ech1-Ech4) sont beaucoup plus riches en matière organique (23,42% - 44%) et en carbone (14,40% - 26%) par rapport au sol témoin (3,89% de matière organique et 1,25% de carbone). Cela confirme le rôle fondamental du vermicompost dans l'amélioration de la teneur en matière organique du sol [9].

En comparant les quatre traitements, nous observons que Ech1 a montré la teneur la plus élevée en matière organique et en carbone. Ceci peut être partiellement expliqué par le fait que la coupe modérée a pu fournir une bonne surface pour l'activité des micro-organismes et des vers, sans être trop fine au point de causer des conditions anaérobies précoces, ni trop grossière au point de ralentir la décomposition. Il est suivi par Ech4, puis Ech3, et enfin Ech2.

Interprétation possible pour Ech2 : La fragmentation grossière des déchets dans Ech2 a pu ralentir le processus global de décomposition par rapport à la coupe plus petite dans Ech1 ou au broyage dans Ech3, même avec une plus grande quantité de vers (50g). Les gros morceaux peuvent nécessiter plus de temps pour être entièrement consommés et transformés.

Interprétation possible pour Ech4 : Malgré l'ajout simultané des vers et des déchets, la grande quantité de vers (100g) a pu contribuer à accélérer efficacement le processus de traitement, conduisant à un taux de matière organique élevé.

V.7.2. Potentiel hydrogène (pH) :

Les valeurs de pH des échantillons de vermicompost produit variaient entre 8,17 (Ech4) et 9,02 (Ech1), ce qui correspond à des valeurs alcalines. L'échantillon de sol témoin était également alcalin mais avec la valeur de pH=8,72. Nous pouvons donc conclure que l'augmentation que nous avons constatée dans Ech1 Cette augmentation peut être attribuée à l'accumulation de sels d'ammonium résultant de la décomposition des protéines dans les déchets alimentaires, en raison de conditions de décomposition idéales [7].

Le pH relativement plus bas dans Ech4 (8,17) pourrait indiquer que l'ajout simultané des vers et des déchets, avec la grande quantité de vers, a contribué à accélérer le processus de maturation et à dépasser plus rapidement la phase d'ammonification.

V.7.3. Conductivité Électrique (CE) et Solides Totaux Dissous (TDS) :

La conductivité électrique (CE) et les solides totaux dissous (TDS) sont des indicateurs de la salinité du vermicompost [10]. Une CE trop élevée peut être nocive pour la croissance des plantes en raison de la toxicité ionique ou du stress osmotique. Les unités Ech2, Ech3 et Ech4 montrent des valeurs de CE et de TDS plus faibles, et plus proches de celles du sol, ce qui est un signe de stabilisation. Une diminution de la CE à un niveau admissible est un indicateur d'un processus de vermicompostage efficace. Une conductivité élevée peut également indiquer une activité microbienne importante [10].

V.7.4. Éléments Nutritifs Majeurs (N, P, K) :

Globalement, ces enrichissements en N, P, et K confirment que le vermicompost est un amendement de valeur. Il est largement admis qu'il favorise la croissance des plantes, stimule le développement de nouvelles pousses et feuilles, et améliore la qualité ainsi que la durée de conservation des produits agricoles [8]. L'échantillon Ech1 se distingue par sa richesse particulière, notamment en potassium, ce qui pourrait être attribué à une minéralisation plus

efficace ou à une concentration initiale plus élevée dans les matières premières spécifiques à ce traitement.

L'échantillon Ech4, malgré des teneurs en N et P plus faibles que Ech1, montre également un apport potassique considérable. Les différences observées entre les traitements suggèrent que les conditions de vermicompostage (pré-compostage, taille des particules, quantité de vers) influencent la libération et la concentration finale de ces nutriments essentiels [8].

V.7.5. Éléments Secondaires (Na, Mg, Ca, Cl) [11] :

Sodium (Na) : Les teneurs en sodium sont globalement plus élevées dans les vermicomposts que dans le sol (8 mg/l). L'unité Ech2 (49.7 mg/l) et Ech4 (101.4 mg/l) ont des concentrations modérées.

Magnésium (Mg) : Les concentrations en magnésium varient (38.4 mg/l à 81.6 mg/l) mais plantes.

Calcium (Ca) : Le calcium est présent dans des proportions similaires entre les vermicomposts (32 mg/l à 40 mg/l) et le sol (28 mg/l).

Chlorure (Cl) : Les teneurs en chlorure sont également beaucoup plus élevées dans les vermicomposts (266.25 mg/l à 514.75 mg/l) que dans le sol (17.75 mg/l), avec Ech4 et Ech1 affichant les concentrations les plus élevées.

V.8. Évaluation Globale de la Qualité des Échantillons et Impact des Traitements :

Nous pouvons maintenant évaluer chaque traitement plus spécifiquement :

Ech1 (coupe au couteau, 20g de vers après 15 jours) a produit vermicompost le plus riche en matière organique et en éléments nutritifs majeurs (surtout le potassium). Cependant, son pH et sa salinité (CE, Na) élevés nécessitent une attention particulière.

Ech2 (hachage grossier, 50g de vers après 15 jours) semble avoir une décomposition plus lente, mais avec des niveaux intéressants de Mg et Ca. Sa richesse globale est inférieure à Ech1.

Ech3 (mixage fin, 20g de vers après 15 jours) montre que le broyage fin n'a pas nécessairement conduit à un produit supérieur à Ech1 en termes de MO (matières organiques) et nutriments, et pourrait avoir des inconvénients en termes d'aération si mal géré.

Ech4 (ajout simultané, 100g de vers), malgré la grande quantité de vers et l'absence de pré-compostage, a produit un compost de bonne qualité en termes de MO, mais avec des niveaux de nutriments NPK inférieurs aux autres, et un pH plus bas. La teneur en chlorure est également à surveiller.

Pour conclure, le traitement Ech1 semble avoir donné le vermicompost le plus riche, mais avec des inconvénients potentiels (pH, salinité). Le traitement Ech4 présente une approche intéressante (pas de pré-compostage, beaucoup de vers) qui mérite d'être explorée davantage, peut-être en optimisant la gestion des ajouts de nourriture. Le type de fragmentation (Ech1 vs Ech2 vs Ech3) a clairement un impact.

V.9. La présentation du Spectre infrarouge de l'Ech1 :

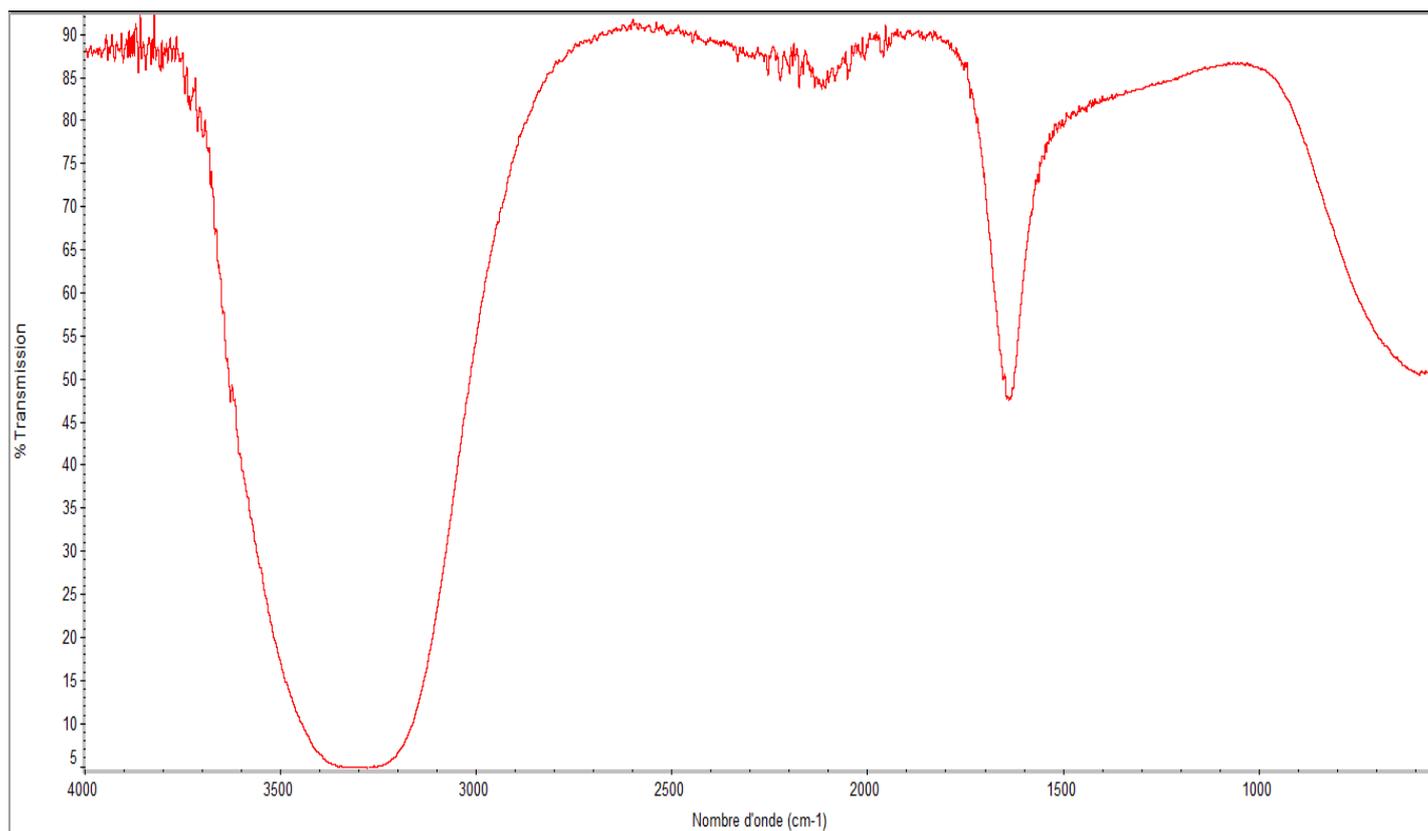


Figure V.4: Spectre infrarouge (FT-IR) du vermicompost en mode transmission, T=f (nombre d'ondes cm^{-1}).

Cette spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF) est une excellente "empreinte digitale" chimique de notre vermicompost. Il confirme que notre produit est une matière organique complexe et riche [12], caractérisée par :

Des groupes fonctionnels oxygénés (O-H, COOH) : Provenant des substances humiques qui améliorent la structure du sol, augmentent sa capacité de rétention d'eau, et favorisent la disponibilité des nutriments pour les plantes, et la capacité d'échange cationique (environ de la bande très large et intense autour de $3300\text{-}3400\text{ cm}^{-1}$). Des composés aromatiques et protéiques:

Indiquant un bon niveau de stabilisation de la matière organique (formation d'humus), (environ du pic intense et relativement net autour de 1640 cm^{-1}).

Des polysaccharides : Montrant la présence de résidus végétaux qui serviront de source d'énergie progressive dans le sol (environ de la bande large et forte autour de 1030 cm^{-1}). En résumé, ce spectre valide la composition chimique bénéfique de notre vermicompost, le qualifiant comme un excellent amendement pour améliorer la structure et la fertilité des sols.

V.10. Conclusion :

L'ensemble des résultats obtenus au cours de notre expérimentation de vermicompostage à partir de déchets alimentaires issus des restaurants universitaires démontre clairement l'efficacité de cette méthode pour produire un amendement organique stable, riche en nutriments et favorable à la santé des sols. Les suivis réguliers des paramètres physico-chimiques tels que la température, l'humidité, le pH et les teneurs en NPK ont permis de maintenir des conditions optimales pour le développement des vers de terre (*Eisenia fetida*) et des micro-organismes, assurant ainsi une décomposition efficace de la matière organique. L'analyse comparative des quatre unités expérimentales a révélé que l'unité 1 a présenté les résultats les plus satisfaisants, notamment en matière de richesse organique et de fertilité, ce qui en fait un modèle de réussite du processus.

Références bibliographique:

- [1] Yusof, Z. (2019). Effect of Vermicompost Application on Bioactive Composition and Antioxidant Properties of *Clinacanthus Nutans* Lindau. Master's thesis, University of Malaya (Malaysia).
- [2] Kouyate, S. S. C. A. B., & Fofana, D. (2022). Etude comparative du vermicompost et de l'engrais NPK sur la productivité du maïs à Azaguié (Sud de la Côte d'Ivoire). MSAS 2022, 392.
- [3] Ali, U., Sajid, N., Khalid, A., Riaz, L., Rabbani, M. M., Syed, J. H., & Malik, R. N. (2015). A review on vermicomposting of organic wastes. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 34(4), 1050-1062.
- [4] KEMASSI, S. (Année non spécifiée). Etude de l'impact des vers de terre sur l'évolution de la matière organique en régions sahariennes: Cas de la cuvette de Ouargla. Doctoral dissertation, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA.
- [5] RUBABURA, J. A. K., BAGALWA, J. J. M., LORENA, A. C., NGERENGO, C. N., & MASUNGA, C. L. (2020). Caractérisation et évolution de vermicompost des déchets ménagers des vers de terre *Eisenia feotida* et *Perionyx excavatus* au Centre de Recherche en Sciences Naturelles de Lwiro, République Démocratique du Congo. *Afrique SCIENCE*, 17(2), 25-35.
- [6] DIOMANDE, S., KOUAKOU, Y. B., RASMANE, K. N. A., EHOUMAN, N. G. M., & BAKAYOKO, A. (2019). Étude de l'effet d'une légumineuse (*Phaseolus vulgaris*) et d'un compost (Vermicompost) sur l'enherbement des cultures maraichères des établissements pénitentiaires de Côte d'Ivoire: cas des prisons d'Abidjan et de Gagnoa. *Afrique SCIENCE*, 15(1), 12-26.
- [7] Khare, N. S. A., Bhargava, D. S., & Bhattacharya, S. (2005). Effect of initial substrate pH on vermicomposting using *Perionyx excavatus* (Perrier, 1872). *Applied ecology and environmental research*, 4(1), 85-97.
- [8] Mistry, J., Mukhopadhyay, A. P., & Baur, G. N. (2015). Status of NPK in vermicompost prepared from two common weed and two medicinal plants. *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology*, 3(2), 193-196.
- [9] Manzoor, A., Naveed, M. S., Ali, R. M. A., Naseer, M. A., Ul-Hussan, M., Saqib, M., ... & Farooq, M. (2024). Vermicompost: A potential organic fertilizer for sustainable vegetable cultivation. *Scientia Horticulturae*, 336, 113443.
- [10] Wichuk, K. M., & McCartney, D. (2010). Compost stability and maturity evaluation—a literature review. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 37(11), 1505-1523.
- [11] Demir, Z., & Kiran, S. (2020). Effect of vermicompost on macro and micro nutrients of

lettuce (*Lactuca sativa* var. *Crispa*) under salt stress conditions. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 23(1), 33-43.

[12] Bhat, S. A., Singh, J., & Vig, A. P. (2017). Instrumental characterization of organic wastes for evaluation of vermicompost maturity. *Journal of Analytical Science and Technology*, 8, 1-12.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale :

Ce travail de fin d'étude s'est inscrit dans la problématique de la gestion durable des déchets organiques en Algérie, dont le volume considérable, notamment celui issu des institutions comme les restaurants universitaires, représente un défi environnemental majeur. L'objectif était d'explorer et d'évaluer des voies de valorisation biologique, en l'occurrence la transformation des biodéchets en ressources à haute valeur ajoutée : un amendement pour les sols (compost) et une source d'énergie renouvelable (biogaz).

L'étude a abordé deux axes de valorisation principaux : la valorisation matière à travers le compostage et le vermicompostage, et la valorisation énergétique via la méthanisation et la fermentation sombre. La partie expérimentale a été spécifiquement consacrée à la mise en œuvre du vermicompostage à partir des déchets alimentaires collectés au sein de l'Université du 8 Mai 1945 de Guelma.

Les résultats obtenus ont clairement démontré la grande efficacité du procédé. Le suivi rigoureux des paramètres physico-chimiques (température, humidité, pH) a permis de maintenir des conditions optimales pour l'activité des vers *Eisenia fetida*, assurant une décomposition complète et rapide de la matière organique. Les analyses en laboratoire du produit final ont confirmé la haute qualité du vermicompost obtenu, qui se caractérise par une teneur élevée en matière organique et un enrichissement significatif en nutriments essentiels (azote, phosphore, potassium) comparativement à un sol témoin. Ces résultats valident son potentiel en tant qu'amendement organique capable d'améliorer la structure et la fertilité des sols.

Cette recherche confirme que le vermicompostage constitue une solution biotechnologique performante, accessible et écologiquement pertinente pour la gestion des déchets alimentaires en milieu universitaire. En transformant un déchet en une ressource, ce procédé s'intègre parfaitement dans un modèle d'économie circulaire, permettant de réduire la pression sur les centres d'enfouissement technique et de limiter les émissions de gaz à effet de serre associées.

Toutefois, cette étude ouvre de nombreuses perspectives de recherche. Si le potentiel du vermicompostage a été démontré expérimentalement, la dimension énergétique reste à valider par des essais pratiques. Il serait pertinent de mener des expérimentations visant à quantifier la production potentielle de biogaz ou de biohydrogène à partir des mêmes déchets. Une approche intégrée, combinant par exemple le vermicompostage à la méthanisation du lixiviat (ou thé de

Conclusion générale

compost), mériterait d'être explorée pour une valorisation complète de la biomasse. De plus, des essais agronomiques en conditions réelles sont nécessaires pour évaluer l'impact concret du vermicompost sur la croissance des cultures. Enfin, une analyse technico-économique approfondie serait indispensable pour juger de la faisabilité d'un déploiement à grande échelle de ces technologies dans les campus universitaires algériens.

En conclusion, cette étude établit une base scientifique et pratique solide pour la mise en place de stratégies locales de gestion durable des déchets. Elle met en lumière le potentiel de la biomasse résiduelle comme un levier de développement durable, contribuant à la fois à la protection de l'environnement et à la transition vers une économie plus verte.

Perspective

Cette recherche a démontré avec succès la viabilité du vermicompostage pour la valorisation des déchets alimentaires issus des structures universitaires. Elle ouvre également plusieurs pistes prometteuses en matière d'investigations scientifiques et d'applications concrètes.

Tout d'abord, une étape logique serait de passer de l'analyse en laboratoire à des essais en conditions réelles. Il serait pertinent d'envisager une validation agronomique du vermicompost produit, par le biais de tests sur diverses cultures (légumes, plantes ornementales, etc.) directement sur le campus. Ces expérimentations permettraient de mesurer l'impact du produit sur la croissance des plantes, la qualité du sol, les rendements et la réduction potentielle de l'utilisation d'intrants chimiques.

Une seconde perspective innovante consisterait à intégrer la valorisation organique et énergétique. En effet, la possibilité de combiner la digestion anaérobie à la vermiculture pourrait être envisagée. Dans un tel système intégré, les déchets seraient d'abord traités par méthanisation pour produire du biogaz. Le digestat solide résiduel, partiellement stabilisé, pourrait ensuite servir de substrat au vermicompostage afin d'obtenir un amendement organique de qualité. Par ailleurs, le lixiviat (ou "thé de compost") produit durant le processus de vermicompostage pourrait être collecté et valorisé dans un digesteur anaérobie à petite échelle pour générer à son tour de l'énergie, permettant ainsi d'exploiter à la fois les fractions solides et liquides du déchet.

Sur le plan institutionnel, le développement d'un projet pilote à l'échelle du campus représenterait une avancée significative. Ce projet viserait à prendre en charge une part importante des déchets organiques générés quotidiennement par les restaurants universitaires de l'Université de Guelma. Il s'agirait d'implanter un système de vermicompostage en flux continu avec une approche circulaire, où le compost produit serait directement utilisé pour l'entretien des espaces verts de l'université. Cela offrirait un modèle tangible d'économie circulaire appliquée dans un cadre académique.

Pour assurer la viabilité d'une telle mise à l'échelle, il serait indispensable de conduire une analyse technico-économique approfondie. Cette dernière évaluerait les coûts d'investissement, les charges d'exploitation, ainsi que la rentabilité potentielle à travers la vente du compost ou les économies générées. À cela s'ajouterait une Analyse du Cycle de Vie (ACV), permettant de quantifier les impacts environnementaux, notamment la réduction des émissions de gaz à effet de serre par rapport aux méthodes traditionnelles de traitement comme l'enfouissement.

Perspective

Enfin, l'université représente un cadre idéal pour une intégration pédagogique et sociétale du projet. Le dispositif expérimental pourrait être intégré dans les cursus d'étudiants en environnement, agronomie, biologie ou génie des procédés, tout en constituant une plateforme d'apprentissage active. De plus, il pourrait servir de base pour des campagnes de sensibilisation visant à promouvoir le tri des déchets, la réduction du gaspillage et la conscience écologique au sein de la communauté universitaire.

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 08 Mai 1945 -Guelma-
L'incubateur universitaire-Guelma

Titre du projet :

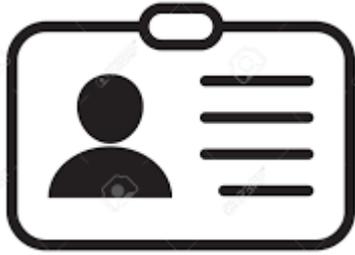
Valorisation des déchets organique production de compost et de biogaz

Projet pour obtenir un diplôme dans le cadre de l'Arrêté Ministériel 1275



Le nom commercial :

Univ-Compost



Carte d'information

À propos de l'équipe d'encadrement du groupe de travail

1. Équipe d'encadrement :

Équipe d'encadrement		
<u>Encadrant principal :</u>	<u>Spécialité :</u>	
Bouraghda Yehya	Génie des procédés	

2. Équipe de projet :

Équipe de projet	Faculté	Spécialité	
Etudiante 1 : KLAIAlA Manar	Science et Technologies	Technologies des procédés de l'hydrogène vert	
Etudiante 2 : ATTALLAH Wala	Science et Technologies	Technologies des procédés de l'hydrogène vert	

Table des matières

Premier axe : Présentation du projet

1. L'idée de projet
2. La valeur proposée, ce qui rend notre produit unique
3. L'équipe de travail
4. Objectifs du projet
5. Calendrier de réalisation du projet

Deuxième axe : Analyses stratégiques du marché

1. Le segment du marché
2. Mesure de l'intensité de la concurrence
3. La stratégie marketing
4. Analyse SWOT du projet Univ Compost
5. Etude du marché

Troisième Axe : Plan de production et organisation

1. Le Processus de production
2. L'Approvisionnement
3. La main d'œuvre
4. Les Principaux partenaires

Quatrième Axe : Plan financier

1. Estimation de la production et du chiffre d'affaires du projet Univ Compost :
2. Production annuelle estimée de vermicompost
3. Chiffre d'affaires prévisionnel
4. Scénarios de chiffre d'affaires, optimiste et pessimiste
5. Conclusion financière
6. Coûts fixes (Investissement)
7. Coûts variables

Cinquième axe: Prototype Expérimental

1. Prototype Expérimental

Le Business Model Canvas

Diplômes de Formation : Centre de Développement de l'Entrepreneuriat (CDE).

Premier axe :

Présentation du projet



1. L'idée de projet :



L'idée du projet est née d'une observation concrète d'un problème réel que nous vivons quotidiennement à l'université : d'énormes quantités de restes alimentaires issues des restaurants universitaires sont jetées chaque jour sans aucune tentative de valorisation. Ces déchets, principalement constitués de matières organiques comme les légumes, les fruits et le pain, se décomposent dans les décharges, émettant du méthane, un puissant gaz à effet de serre en plus des mauvaises odeurs et de la pollution environnementale.

Cette réalité nous a poussés à poser une question essentielle : Pourquoi ne pas transformer ce problème en opportunité ? Pourquoi ne pas exploiter ces déchets pour produire une ressource naturelle et bénéfique pour l'environnement et aussi économique ? C'est ainsi qu'est née l'idée de créer une unité sur le campus universitaire pour transformer les déchets organiques en compost de haute qualité, en utilisant la technique du vermicompostage à base de vers *Eisenia fetida*, également appelés « Red Wiggler », reconnus pour leur capacité à décomposer rapidement la matière organique.

2. La valeur proposée, ce qui rend notre produit unique :

Notre produit n'est pas un simple compost, mais un fertilisant biologique innovant, avec plusieurs avantages clés qui le distinguent sur le marché :

- 100 % naturel.
- Riche en nutriments et en matière organique, améliore rapidement la fertilité du sol.
- Fabriqué localement à partir des déchets des restaurants universitaires, avec une valeur écologique, économique et éducative forte.
- Processus de production biologique, respectueux de l'environnement.
- Prix accessible, inférieur aux engrais organiques importés.
- Accompagné de formations et ateliers de sensibilisation.
- Sensibilisation des agriculteurs sur l'importance des engrais organiques et l'amélioration des cultures agricoles.

3. L'équipe de travail

Notre projet est porté par deux étudiantes engagées, issues de la même spécialité :

➤ Étudiante 01 : **KLAIAlA Manar**

Spécialité : Technologies des procédés de l'hydrogène vert

Formation : Centre de Développement de l'Entrepreneuriat (CDE).

Compétente en français et ayant un niveau A2 en anglais.

➤ Étudiante 02 : **ATTALLAH Wala**

Spécialité : Technologies des procédés de l'hydrogène vert

Formation : Centre de Développement de l'Entrepreneuriat (CDE).

À un niveau A2 en anglais et un niveau B2 en français.

Les deux porteuses du projet assurent la gestion globale, les études de marché et la communication.

4. Objectifs du projet :



Le projet ambitionne de déployer progressivement une offre d'engrais organiques performants sur le marché local, en tant qu'alternative biologique aux engrais chimiques, afin de capter une part significative de la production nationale. Notre objectif est également de parvenir, d'ici cinq ans, à une couverture complète du marché de l'Est Algérien .Consolidant ainsi notre position locale et nationale.

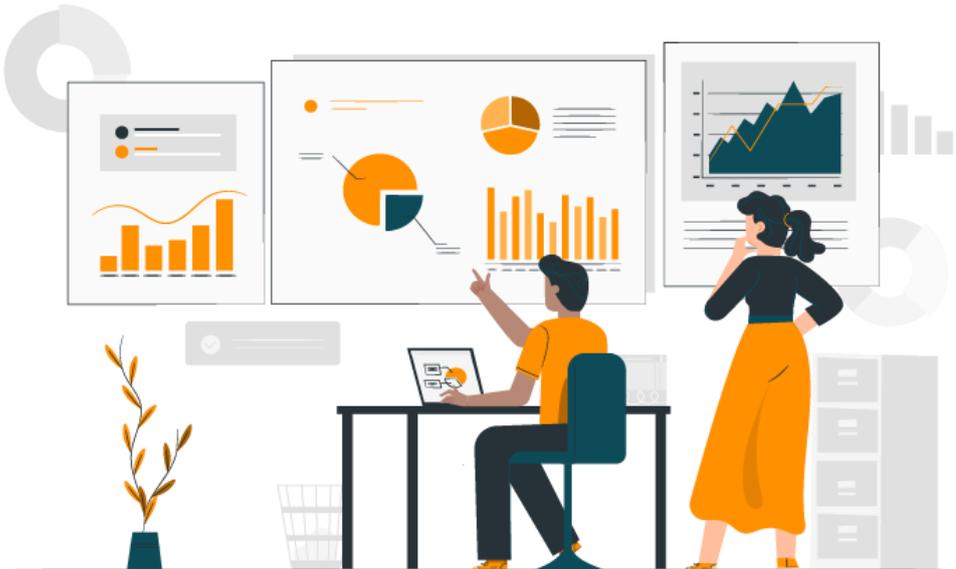
5. Calendrier de réalisation du projet :



			Mois					
			1	2	3	4	5	6
1		Études préalables : choix de l'implantation de l'unité de production, préparation des documents nécessaires	✓	✓				
2		Commande des équipements		✓				
3		Location et aménagement des locaux appropriés		✓	✓			
4		Installation des équipements				✓		
5		Achat de matières premières					✓	
6		Réalisation du prototype					✓	✓

Deuxième axe :

Analyses stratégiques du marché



1. Le segment du marché :

- Les agriculteurs.
- Les personnes qui cherchent à améliorer la qualité et augmenté la quantité de leurs produits.
- Les personnes souhaitant des solutions naturelles et saines optent pour des engrais organiques afin de cultiver dans un sol sain, sans recourir aux produits chimiques.
- Magasins de fournitures agricoles.

2. Mesure de l'intensité de la concurrence :

Les concurrents les plus importants sur le marché algérien sont :

- La Société des Fertilisants d'Algérie installé dans les sites industriels d'Annaba et d'Arzew FERTIAL
- Nous avons identifié quelques concurrents sur les réseaux sociaux qui ciblent le même public on peut notamment mentionner : FORTILA, BIO ENGRAIS, FERTIVER

	POINT FORTE	POINT FAIBLE
FERTIAL	<ul style="list-style-type: none">- Haute capacité de production des engrais.- Soutien gouvernemental et partenariat solide- Emplacement stratégique près du port- Ancienneté sur le marché	<ul style="list-style-type: none">- Forte dépendance au gaz naturel- Des infrastructures vieillissantes et des incidents passés- Les défis environnementaux et réglementaires
FORTILA	<ul style="list-style-type: none">- Diversité des produits (solides et liquides)- Matière première locale et naturelle (produisé à partir de déchets de volaille)- Forte présence sur les réseaux sociaux	<ul style="list-style-type: none">- Un marché local de portée limitée- Absence d'informations précises sur la capacité de production et les certifications
BIO ENGRAIS	<ul style="list-style-type: none">- Prix compétitifs- Produit 100 % naturel- Bon marketing	<ul style="list-style-type: none">- Dépendance totale aux réseaux sociaux
FERTIVER	<ul style="list-style-type: none">- Prix compétitifs- Bon marketing	<ul style="list-style-type: none">- Dépendance totale aux réseaux sociaux

		- Manque de certifications (aucune accréditation internationale ne garantit la qualité)
--	--	---

3. La stratégie marketing :

Pour commercialiser nos produits Univ_Compost, nous nous appuyons sur une stratégie marketing qui repose principalement sur la publicité et l'information des clients sur les avantages de l'utilisation de notre bio vermicompost produit par notre entreprise en ce qu'il s'agit d'un produit respectueux de l'environnement, la qualité du sol et du produit.

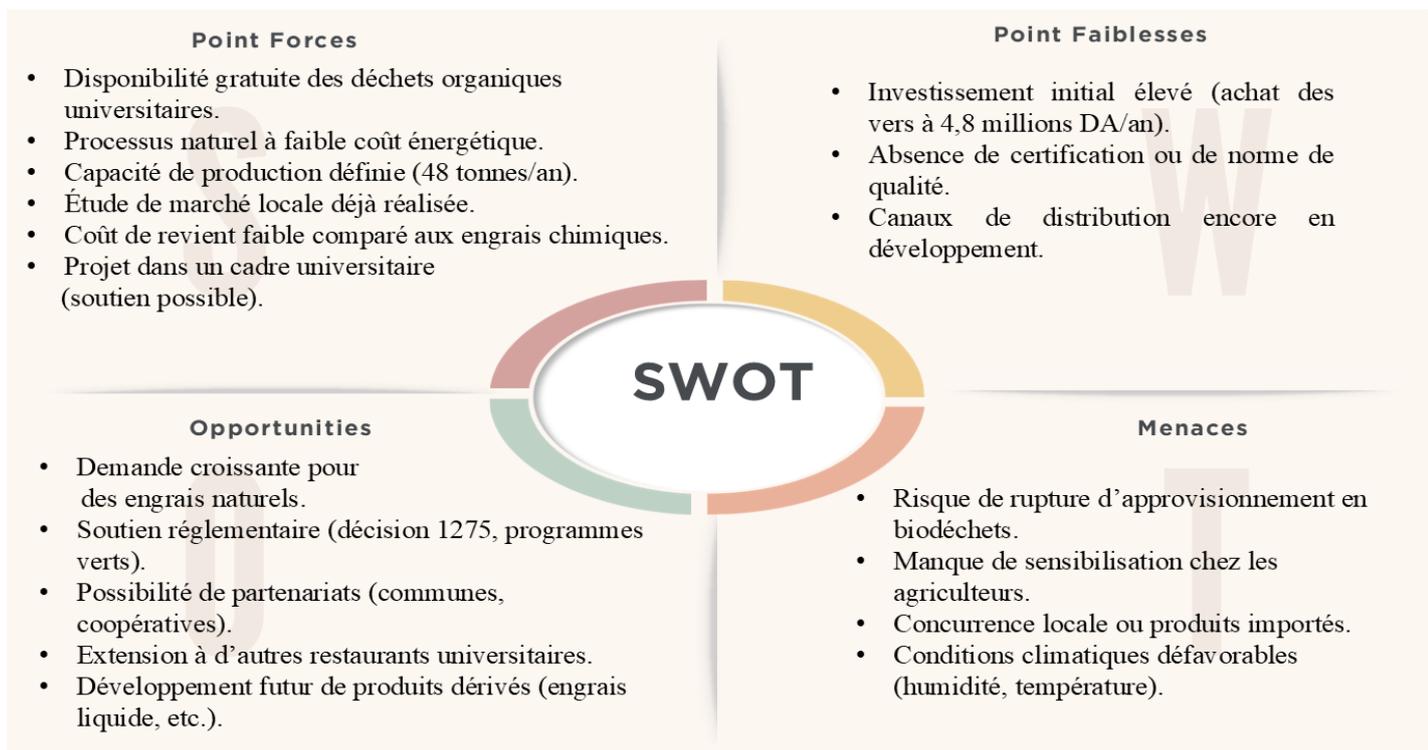
Grâce à un contrôle rigoureux des coûts, la stratégie commerciale permet de proposer des engrais à des prix compétitifs.

Nous croyons en l'importance de se démarquer de nos concurrents et nous nous efforçons de mettre en évidence nos caractéristiques uniques et la qualité de nos produits grâce à des campagnes publicitaires stratégiques et en utilisant les témoignages de clients satisfaits et les recommandations.

En élargissant nos canaux de distribution et notre présence dans les magasins de fournitures agricoles, nous cherchons à élargir la portée de nos produits auprès d'un public plus large. Nous comptons sur le marketing numérique et les réseaux sociaux pour interagir avec le public et faire connaître nos produits.

Notre organisation accorde une importance primordiale à la satisfaction de ses clients.

4. Analyse SWOT du projet Univ Compost



5. Etude du marché :

Dans le cadre de notre étude de marché dans la wilaya de Guelma, nous avons identifié un environnement agricole riche, composé de 7 agences agricoles de proximité et d'environ 15 000 agriculteurs actifs, répartis sur différentes filières telles que le maraîchage, l'élevage et les grandes cultures (céréales).

Afin d'évaluer l'intérêt réel pour notre produit, le vermicompost, nous avons mené une enquête ciblée auprès d'un échantillon représentatif d'agriculteurs. Un questionnaire structuré leur a été proposé afin de mieux comprendre leurs besoins, leurs pratiques en matière d'amendement du sol et leur perception des engrais organiques.

Les résultats de cette enquête ont révélé un accueil globalement positif : les agriculteurs interrogés ont exprimé un intérêt marqué pour l'utilisation du vermicompost, qu'ils considèrent comme une alternative naturelle, économique et respectueuse de l'environnement. Ces retours confirment la pertinence commerciale de notre projet Univ-Compost.

استبيان مبسط حول الفرميكومبوست

1. معلومات عامة

- الجنس: ذكر أنثى
- العمر: أقل من 30 30-40 41-50 أكثر من 50
- مستوى التعليم: لا أقرأ ابتدائي متوسط ثانوي أعلى
- سنوات الخبرة في الفلاحة: _____ سنة
- نوع النشاط الزراعي: زراعة تربية حيوانات أخرى _____ :
- مساحة الأرض (هكتار): <1 1-5 >5

2. المعرفة بالفرميكومبوست

- هل سمعت عن الفرميكومبوست؟ نعم لا
- ما مصدر معرفتك؟ جيران تلفزيون دورات أخرى _____ :
- هل تعرف فوائد الفرميكومبوست؟ كثير قليل لا أعرف

3. رأيك واستخدامك

- هل تعتقد أن الفرميكومبوست بديل جيد للأسمدة الكيميائية؟ نعم لا
- هل استخدمت الفرميكومبوست من قبل؟ نعم لا
- إذا نعم، هل أنت راضٍ عن النتائج؟ نعم لا لا أعرف

- ما الذي يمنعك من استخدامه؟ لا أعرف غالي صعب الحصول عليه أخرى _____ :

4. الأسمدة التي تستخدمها حالياً

- نوع السماد المستخدم: كيميائي عضوي الالتهين معاً لا أستخدم
- هل لديك مشاكل مع السماد الكيميائي؟ نعم لا

5. التفضيلات الاقتصادية

- هل الفرميكومبوست أرخص من السماد الكيميائي؟ نعم لا
- السعر المناسب لك لـ 1 كغ؟ دج < 10 10-20 دج أكثر
- هل تفضل شراء كيس صغير أم كبير؟ صغير (5-10 كغ) كبير (25-50 كغ)
- هل تود تجربة منتج محلي جيد؟ نعم لا

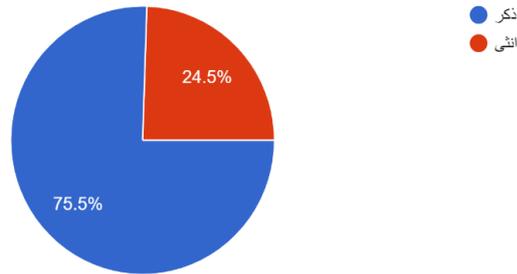
6. دوافع الشراء والثقة

- أهم أسباب اختيار السماد: السعر التوفر الجودة نصيحة مهندس أو فلاح
- هل شهادة جودة مهمة لك؟ نعم لا
- هل خدمة ما بعد البيع مهمة لك؟ نعم لا

7. اقتراحاتك لتحسين بيع الفرميكومبوست

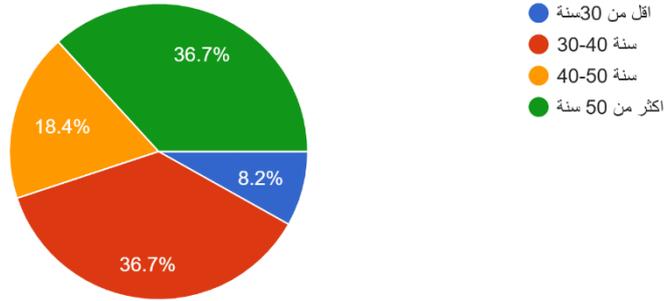
Leurs réponses étaient les suivantes :

Sexe
49 responses



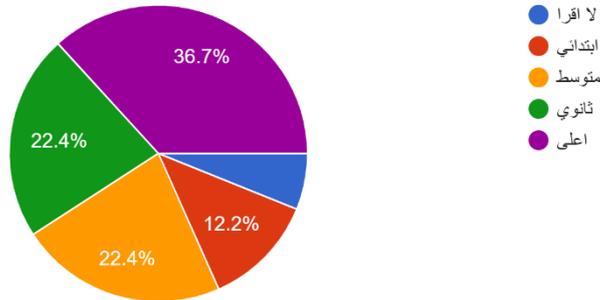
vie

49 responses



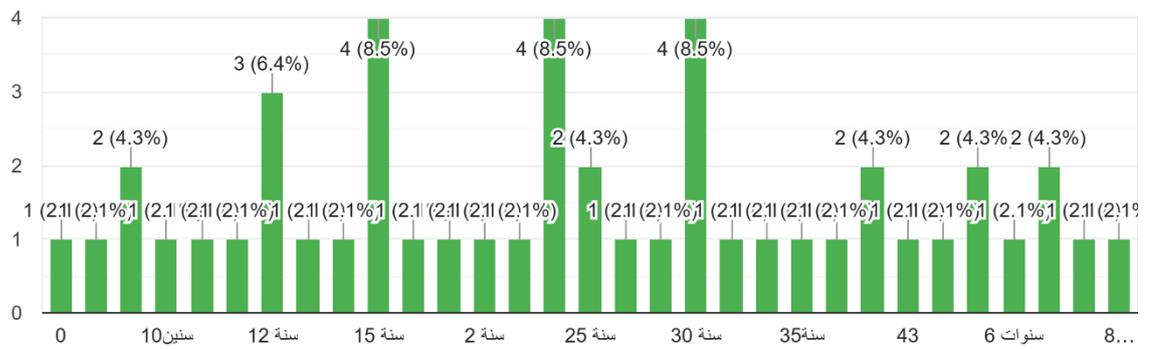
Niveau d'éducation

49 responses



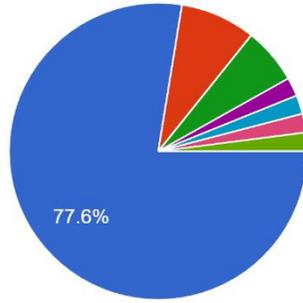
Années d'expérience dans l'agriculture

47 responses



Type d'activité agricole

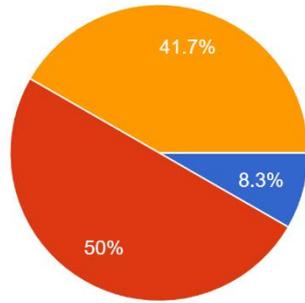
49 responses



- زراعة
- تربية الحيوانات
- نوع اخر اذكره
- كلهم
- زراعة و تربية الحيوانات
- اشجار المثمرة
- تشجير

Superficie terrestre

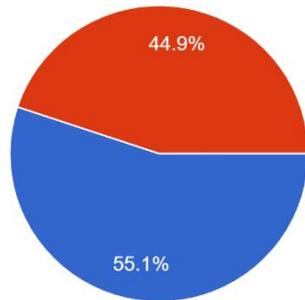
48 responses



- اقل من 1 هكتار
- هكتار 5-1
- اكثر من 5 هكتارات

Avez-vous entendu parler de Fermicompost ?

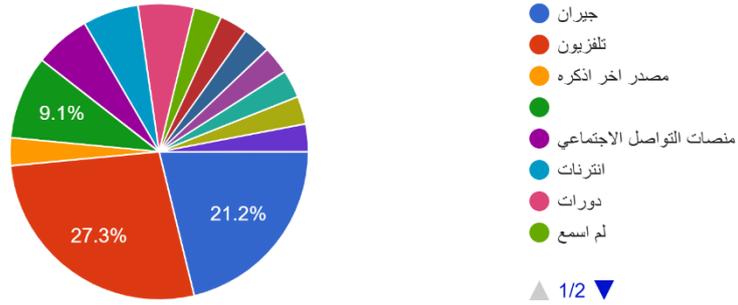
49 responses



- نعم
- لا

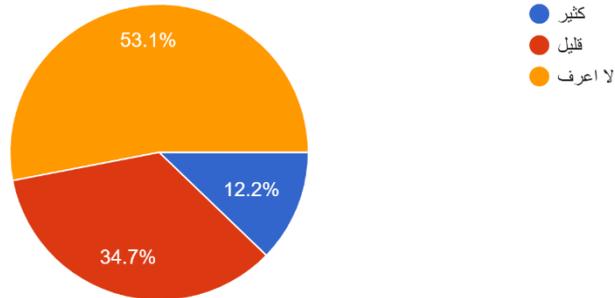
Quelle est la source de vos connaissances ?

33 responses



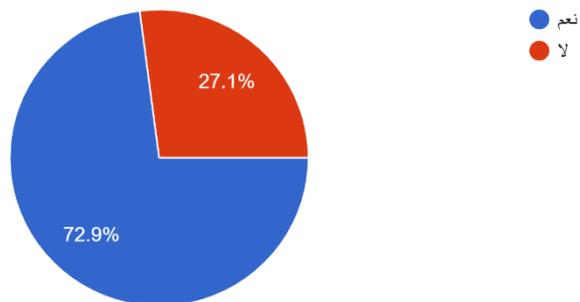
Connaissez-vous les avantages du fermicompost ?

49 responses

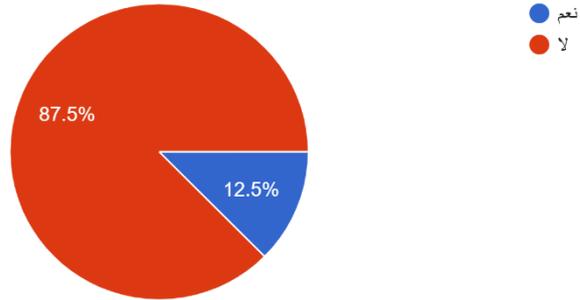


Pensez-vous que le lombricompost est une bonne alternative aux engrais chimiques ?

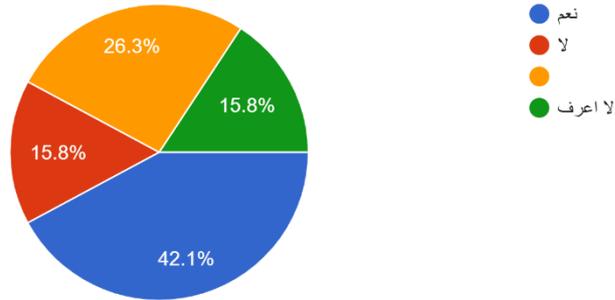
48 responses



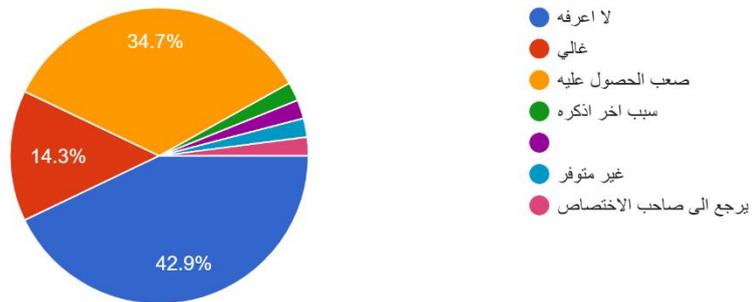
Avez-vous déjà utilisé du lombricompost ?
48 responses



Alors oui, êtes-vous satisfait des résultats ?
19 responses

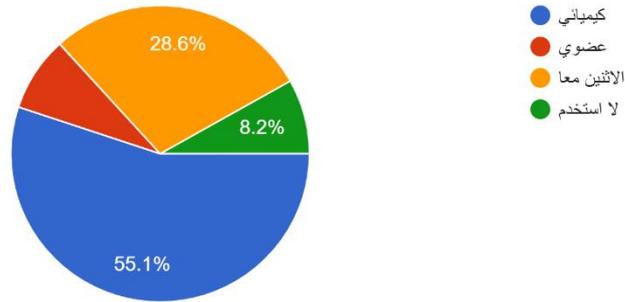


Qu'est-ce qui vous empêche de l'utiliser ?
49 responses



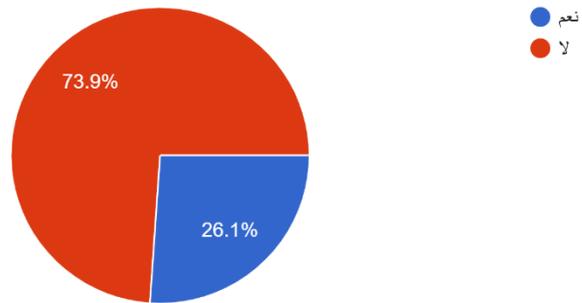
Type d'engrais que vous utilisez

49 responses



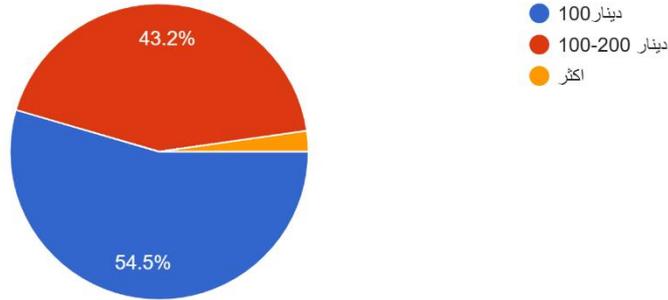
Avez-vous des problèmes avec les engrais chimiques ?

46 responses



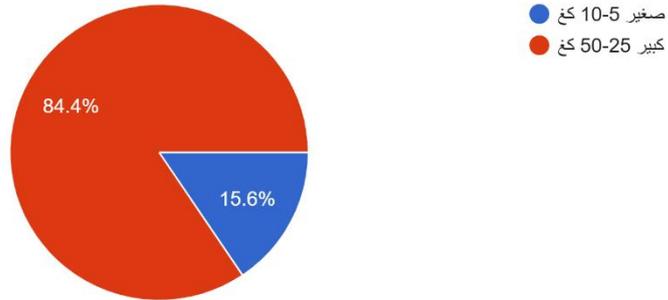
Le bon prix pour vous pour 1kg

44 responses



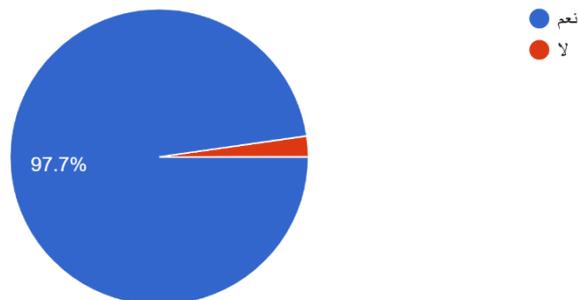
Préférez-vous acheter un petit ou un grand sac ?

45 responses



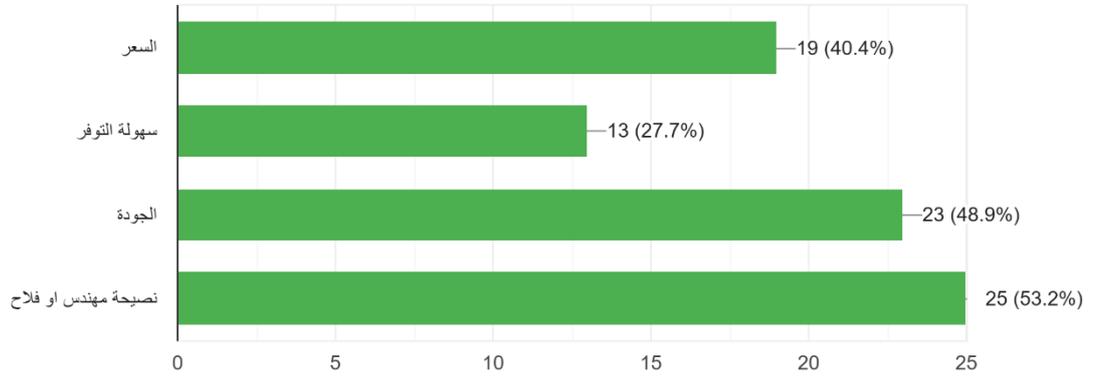
Vous aimeriez essayer un bon produit local ?

44 responses



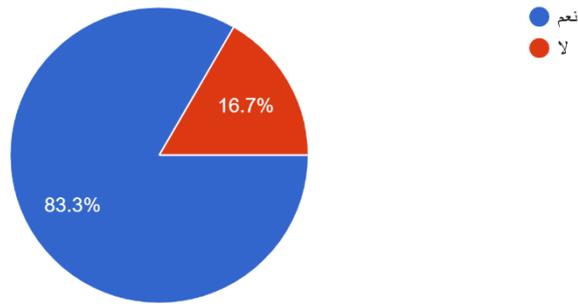
Les raisons les plus importantes de choisir un engrais

47 responses



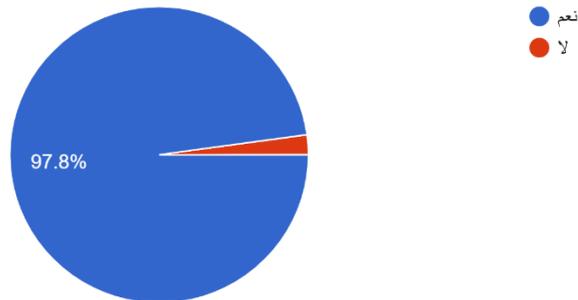
La certification de qualité est-elle importante pour vous ?

42 responses



Le service après-vente est-il important pour vous ?

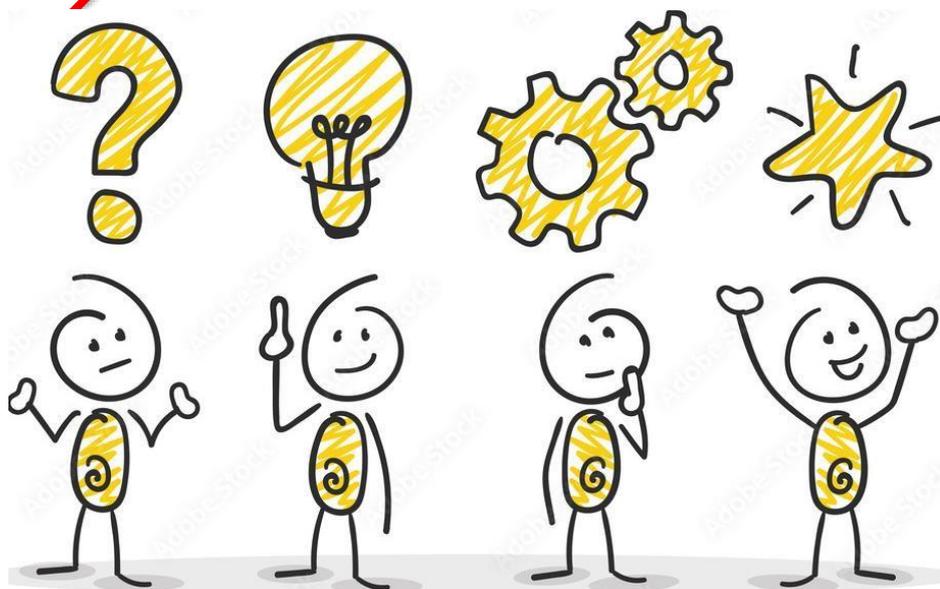
46 responses



- السعر
- التعريف بالفرميكومبوست
- توفير الفرميكومبوست بالكمية اللازمة و بسعر مناسب
- السومة
- مرافق مختصين في المجال تكوين ارشاد فلاحي للمنتوج
- يجب توعية الفلاحة ونشر في مواقع التواصل
- تعميمه على الفلاحين
- الوفرة
- تنظيم دورات تكوينية للتعريف بالفرميكومبوست
- مطلوب تجريب الفارمي كومبوست من قبل فلاح مشهور
- التعريف بالفرميكومبوست عن طريق تنظيم دورات تكوينية و عبر منصات التواصل الاجتماعي و قنوات الاعلام انشاء مصانع لتوفير الفرميكومبوست
- التوعية
- لا اعرفه
- توفيره
- ايام تحسيسية و تكوينية للتعريف به و توفيره في الأسواق مع مراعاة السعر
- والو في نفس طريق
- الوفرة و السعر
- توفيره بكثرة مع السعر المناسب
- التوصل الى الفلاح مع سعر مناسب
- تنظيم دورات للتعريف به.
- تحسين جودة
- اجراء عمليات تحسيسية
- تكوين و التعريف بالمنتوج مع التشجيع التجارب في الميدان
- توضييه في اكياس محكمة الاغلاق . برمجة دورات تكوينية خاصة بفوائد الفرميكومبوست.
- مجربتوش
- التعريف بالفرميكومبوست (دورات ، مواقع التواصل ، الاعلام ...)
- لا
- السعر و الوفرة
- تحسين السعر مع توفير المنتوج و التعريف بيه
- تحسيس و توعية
- توفير المنتوج مع سعر مناسب
- يعتبر مشروع تربية الدود لإنتاج السماد العضوي من المشروعات المربحة والغير مكلفة حيث أن الدود يتغذي على مخلفات المطبخ من بقايا الأطعمة والخضروات وقشور الفاكهة وغيرها بدلا من التخلص منها في صناديق القمامة هنا يمكن الاستفادة منها في إنتاج السماد الذي يستخدم في الزراعة ويساعد على سرعة نمو النباتات وزيادة خصوبة التربة.
- تقديم دورات و تحسيس للتعريف به.
- تحسيس و تكوين
- توفيره
- التحسيس و توعية و الإشهار

Troisième Axe

Plan de production et organisation



1. Le Processus de production :



2. L'Approvisionnement :



Lors du processus d'approvisionnement, nous traitons directement avec les restaurants universitaires, qui constituent un avantage concurrentiel pour notre projet, ainsi qu'avec les fournisseurs de machines de tamisage et de fabrication de lombricompost adaptées, ainsi que de machines d'emballage.

S'adopter au mode de paiement dès réception en interagissant directement avec le client, ce qui aide également à établir des relations à long terme en gagnant leur confiance. On doit aussi être à l'écoute de leurs commentaires et suggestions afin de répondre en permanence à leurs attentes.

Communication directe avec les fournisseurs (de matière première, de matériel nécessaire de maintenance...) en concluant des contrats d'achat.

- **Stratégie d'achat**

Les principales matières premières, telles que la litière sèche (papier, carton, sciure...) ainsi que les déchets organiques, seront collectées gratuitement auprès du restaurant universitaire.

L'achat des vers *Eisenia fetida* se fera une seule fois au début du projet, avec une quantité suffisante pour deux mois de travail. Après cela, la reproduction naturelle des vers sera utilisée.

De la même façon, les machines de production seront achetées au lancement du projet, en nombre suffisant pour bien commencer.

Les paiements se feront souvent en ligne, par CCP ou en espèces (main à main), avec une livraison prévue après la confirmation de la commande et un premier paiement.

3. La main d'œuvre :



Le rôle des travailleurs humains dans le projet de production de vermicompost est essentiel, requiert une équipe de travail compétente avec un formateur pour effectuer les différentes tâches. Ce projet crée entre 4 et 6 postes d'emploi permanents, telle qu'un expert en biochimie ayant une expérience avec les vers de terre dans des milieux et conditions appropriés, en plus d'un comptable qualifié.

L'engagement est mis sur la création d'un environnement de travail adapté et stimulant pour l'équipe, propice à la collaboration, à une communication efficace et à l'expression de la créativité. Une attention particulière est également portée à la formation continue des membres, afin de renforcer leurs compétences et de les maintenir informés des dernières évolutions du secteur.

Nous nous efforçons de créer un environnement de travail qui encourage le travail d'équipe et favorise l'initiative individuelle.

4. Les Principaux partenaires :

Les acteurs qui peuvent aider à la réalisation du projet et apporter le complément sont : premièrement les universités, les fournisseurs des matériels et équipements, incubateur universitaire de Guelma, les laboratoires d'analyses nécessaires pour l'amélioration de notre produit jusqu'à arriver à un produit plus développé à un état parfait. Les entreprises de stockage. En fin n'oubliez pas les entreprises de livraison et de transport.



Quatrième Axe

Plan financier



1. Estimation de la production et du chiffre d'affaires du projet Univ Compost :

Le projet Univ Compost s'inscrit dans une démarche de valorisation des déchets produits par les restaurants universitaires. Dans ce cadre, une étude préliminaire a été réalisée au niveau de l'Université 8 Mai 1945 de Guelma, permettant d'estimer les volumes et rendements attendus du processus de vermicompostage.

Les services de restauration universitaire délivrent annuellement environ **2 000 000** de repas, répartis sur une période effective de **huit (8) mois**, ce qui correspond à environ **240 jours** d'activité (hors vacances académiques, et jours fériés).

En se basant sur ces données, le nombre moyen de repas servis par jour est estimé à :

$$2000000 \div 240 = 8333 \text{ repas/jour}$$

À partir de relevés de terrain réalisés durant la phase expérimentale, la quantité moyenne de déchets générés quotidiennement (principalement lors de la préparation des repas : épiluchures, restes de légumes, coquilles, etc.) est estimée à **200 kg par jour**.

Ce chiffre ne tient pas compte des restes non consommés par les étudiants, mais seulement des résidus organiques générés en cuisine.

Les expérimentations menées dans le cadre du projet ont permis de déterminer un ratio optimal de transformation des déchets organiques en fertilisant stable, selon la formule suivante :

1 kg de déchets + 2 kg de litière végétale sèche (papier, carton, sciure, paille, etc.)

→ **≈ 1 kg de vermicompost**

Ce ratio tient compte de la capacité digestive des vers *Eisenia fetida* et des conditions optimales d'humidité, d'aération et de température.

2. Production annuelle estimée de vermicompost :

En tenant compte :

- D'une collecte de **200 kg/jour**
- Sur **240 jours d'activité annuelle**

On obtient :

$$200 \times 240 = 48000 \text{ kg de déchets/an}$$

D'après le ratio mentionné, cette quantité permet de produire environ :

$$48000 \text{ kg de vermicompost/an} = 48 \text{ tonnes/an}$$

3.Chiffre d'affaires prévisionnel :

Le chiffre d'affaires dépend du mode de commercialisation choisi (vrac ou emballé). En se basant sur les prix pratiqués localement, les prévisions suivantes peuvent être établies :

Mode de vente	Prix unitaire (DA/kg)	Chiffre d'affaires annuel
Vente en vrac	160 DA	7 680 000DA
Vente exclusivement emballée	180 DA	8 640 000DA

Ainsi, à partir de **2 millions** de repas annuels, le projet permet de détourner **48 tonnes** de déchets de la mise en décharge, et de produire une quantité équivalente de fertilisant naturel, tout en générant un chiffre d'affaires durable compris entre **7,6 et 8,6 millions de dinars** par an.

4.Scénarios de chiffre d'affaires, optimiste et pessimiste :

Afin d'affiner l'analyse financière du projet Univ Compost, deux scénarios de commercialisation ont été considérés : un scénario optimiste et un scénario pessimiste, en fonction du volume écoulé et du mode de vente.

Scénario optimiste :

Dans cette hypothèse, l'intégralité de la production annuelle de vermicompost, soit **48000 kg**, est vendue sous forme emballée, au prix maximal de **180 DA/kg**. Cela suppose une stratégie commerciale efficace, une présence sur les marchés agricoles, ainsi que des campagnes de sensibilisation réussies auprès des agriculteurs et des jardiniers.

$$48000 \text{ kg} \times 180 \text{ DA} = 8640000 \text{ DA/an.}$$

Scénario pessimiste :

Dans ce cas, seules **50 %** de la production annuelle sont écoulées, soit **24 000 kg**, vendues en vrac au prix minimal de **160 DA/kg**. Ce scénario tient compte d'éventuelles difficultés de distribution, d'un manque de notoriété ou de limitations logistiques en phase de démarrage.

$$24000 \text{ kg} \times 160 \text{ DA} = 3840000 \text{ DA/an}$$

Tableau récapitulatif :

Scénario	Quantité vendue	Prix de vente (DA/kg)	Chiffre d'affaires annuel
Optimiste	48 000 kg (100 %)	180 DA	8 640 000 DA
Pessimiste	24 000 kg (50 %)	160 DA	3 840 000 DA

5. Conclusion financière :

Le chiffre d'affaires annuel prévisionnel du projet **Univ Compost** oscille ainsi entre **3,84 et 8,64 millions de dinars**, selon la capacité de commercialisation, le positionnement produit, et l'efficacité des canaux de vente mobilisés.

6. Coûts fixes (Investissement) :

Catégorie	Matériel	Quantité	Prix unitaire (DA)	Total (DA)
Matériel manuel	Pelles	4	1850	7400
	Brouette de chantier	2	2600	5400
	Balance électronique	1	20000	20000
	Appareil de mesure (pH, humidité, Thermomètre)	2	6000	12000
Matériel semi-industriel	Machine à remplir	1	725000	725000
	Tamis électrique	1	625500	625500
	Achat des vers <i>Eisenia fetida</i>	240 kg	20000 (1Kg)	4800000
Local	Location pour une année, renouvelable.	12 mois	40000	480000
	Aménagement intérieur	1	50000	50000
	Électricité & lumière	1	50000	50000
	Marketing	Sponsore Facebook Commercialisation	—	—
Frais administratifs	Nom commercial	1	2000	2000
Sécurité & hygiène	Gants	100	700	70000
	Blouses de travail	6	1000	6000
	Masques	100	500	5000
	Bottes de sécurité	6	3000	18000
	Produits de nettoyage	—	2000	20000

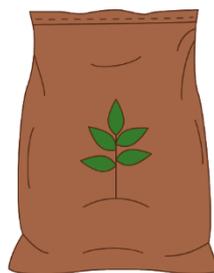
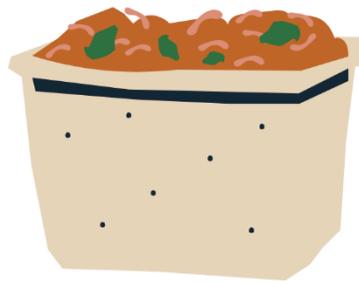
Total	—	—	—	6 906 300
--------------	---	---	---	------------------

7. Coûts variables :

Matériel	Quantité	Prix unitaire (DA)	Total mensuel (DA)
Salaires des ouvriers	4	25000 par mois	100000/mois = 1200000/an
Sacs pour compost	2000	15	30000
Factures eau et électricité	3 mois	—	120000
Analyses labo (NPK, pH)	Chaque 3mois	—	320000
Total mensuel	—	—	1 670 000

Cinquième axe

Prototype Expérimental



1. Prototype Expérimental







Le Business Model Canvas

8. Partenaires clés

- L'université
- Laboratoire de contrôles de qualité
- Les Fournisseurs de sacs, litière et matériaux
- Les entreprises de livraison

7. Activités clés

- Collecte et tri des biodéchets.
- Préparation de la litière .
- Suivi biologique des unités de vermicompostage.
- Ramassage, tamisage, séchage du compost.
- Analyse qualité et amélioration continue.
- mise en sacs du compost.
- Commercialisation, livraison.

6. Ressources clés

- Déchets organiques.
- Les vers de terre *Eisenia fetida*.
- Espace de production (loué).
- Équipements de compostage Bacs, structure de séparation, etc.
- Machines de traitement .
- Appareils de surveillance (pH, température, humidité).

2. Propositions de Valeur

- Engrais organique 100 % naturel .
- Produit à partir de déchets alimentaires universitaires : solution locale et durable.
- Riche en nutriments (azote, phosphore, potassium).
- facile à utiliser.
- Moins cher que les engrais chimiques.
- Respectueux de l'environnement et valorisant l'économie circulaire.

4. Relation client

- Échantillons gratuits ou réductions pour les premiers acheteurs
- Communication continue via téléphone, réseaux sociaux
- Programme de fidélité à long terme (remises, bonus)

3. Canaux

- Vente directe à l'unité de production
- Distribution via les revendeurs d'intrants agricoles
- Présence sur les réseaux sociaux (Facebook, Instagram)

1. Clients

- Les agriculteurs
- Les propriétaires de pépinières
- les magasins de vente des fourniture agricole
- Les responsables des espaces verts

9. Coûts

- Achat initial des vers (investissement unique)
- Coût du matériel (pelles, balances, bacs, ...)
- Location ou aménagement de l'espace
- Salaires des ouvriers saisonniers
- Achat de sacs d'emballage et matériel consommable
- Coûts logistiques (transport des déchets / livraison produit)
- Électricité, eau, entretien des équipements
- Dépenses marketing (flyers, réseaux sociaux...)

5. Revenus

- Vente directe de produit :
 - ✓ Vente en vrac du vermicompost (≈ 160 DA/kg)
 - ✓ Vente en sachets conditionnés (≈ 180 DA/kg)
- Chiffre d'affaires prévisionnel
 - 8640000 DA/an.
 - 43200000 DA/5an.

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة اقتصاد المعرفة والمؤسسات
الناشئة والمؤسسات الصغيرة



الوكالة الوطنية لدعم وتنمية المقاولاتية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



جامعة 8 ماي 1945 - قالمة -

الرقم: 24/CDE-UGU /239

شهادة تكوين في المقاولاتية

الحامل (ة) للرقم التعريفي الوطني الوحيد: 110000874001330005

سلمت هذه الشهادة الى السيد (ة): كلايكية منار

إثباتا لمتابعته (ها) للدورة التكوينية في المقاولاتية وإنشاء المؤسسات الصغيرة، المنظمة خلال الفترة الممتدة من: 2025/05/11 إلى: 2025/05/29

حرر بقالمة في: 2025/05/29

عن المدير العام للوكالة الوطنية لدعم وتنمية

المقاولاتية



ح. يومليط

مدير المؤسسة الجامعية

الجامعة
الاستاذ الدكتور: صالح العقون



حررت هذه الشهادة للإستعمالها في إطار القرار الصادر عن وزير اقتصاد المعرفة والمؤسسات الناشئة والمؤسسات الصغيرة المؤرخ في 29 رجب عام 1444 الموافق لـ 20 فبراير سنة 2023، يحدد تنظيم وسير لجنة

انتقاد واعتماد وتمويل المشاريع الاستثمارية المحدثة على مستوى الوكالة الوطنية لدعم وتنمية المقاولاتية وكذا كفاءات معالجة ومضمون الملفات المتعلقة بهذه المشاريع

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة اقتصاد المعرفة والمؤسسات
الناشئة والمؤسسات الصغيرة



الوكالة الوطنية لدعم وتنمية المقاولاتية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



جامعة 8 ماي 1945 - قالمة -

الرقم: 24/CDE-UGU/238

شهادة تكوين في المقاولاتية

الحامل (ة) للرقم التعريفي الوطني الوحيد: 110020855003200003

سلمت هذه الشهادة الى السيد (ة): عطا الله ولاء

إثباتا لمتابعته (ها) للدورة التكوينية في المقاولاتية وإنشاء المؤسسات الصغيرة، المنظمة خلال الفترة الممتدة من: 2025/05/11 إلى: 2025/05/29

حرر بقالمة في: 2025/05/29

عن المدير العام للوكالة الوطنية لدعم وتنمية

المقاولاتية



مدير المؤسسة الجامعية



حررت هذه الشهادة للإستعمالها في إطار القرار الصادر عن وزير اقتصاد المعرفة والمؤسسات الناشئة والمؤسسات الصغيرة المؤرخ في 29 رجب عام 1444 هـ الموافق 20 فبراير ايرسنة 2023، يحدد تنظيم وسر لجنحة
انتقاد واعتماد وتمويل المشاريع الاستثمارية المحدثة على مستوى الوكالة الوطنية لدعم وتنمية المقاولاتية وكذا كيفيات معالجة ومضمون الملفات المتعلقة بهذه المشاريع