



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique Et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Université Constantine 1 Frères Mentouri
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة قسنطينة 1 الإخوة منتوري
كلية علوم الطبيعة والحياة

Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique

Département : Ecologie et environnement

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques / Biotechnologies / Écologie et Environnement

Spécialité : Protection des écosystèmes

N° d'ordre :

N° de série :

Intitulé :

Un fertilisant durable à base des cheveux naturels

Présenté par : - SAIFI AMIR ABDELKADER

Le : 24/06/2025

- NINI AKRAM

Jury d'évaluation :

Président: BAZRI Kamel Eddine (Pr-UConstantine 1 Frères Mentouri).

Encadrant : KERROUCHE Ibrahim (MCB-UConstantine 1 Frères Mentouri).

Examinateur : BENALIA Nabiha (MCB- UConstantine 1 Frères Mentouri).

**Année universitaire
2024 - 2025**

Remerciements

Nous remercions tout d'abord le bon dieu pour la volonté et la patience Qu'il nous a donné
durant ces longues années d'étude afin que nous
Puisons arriver ce stade, du fond de notre cœur.

A notre Enseignant Pr. BAZRI KAMEL EDDINE

Nous avons l'honneur d'être parmi ses élèves et de bénéficier de son riche enseignement.

Ses qualités pédagogiques et humaines sont pour nous un modèle.
Sa gentillesse, et sa disponibilité permanente ont toujours Suscité notre admiration.

Nous vous remercions d'avoir accepté de présider ce jury.

Nous remercions également Dr. BENALIA NABIHA, maître de conférences, pour avoir
accepté de faire partie du jury et examiner ce travail à la lumière de ses compétences
notable dans ce domaine.

A notre Encadrent Dr. KERROUCHE IBRAHIM

Votre compétence, votre encadrement ont toujours suscité notre profond respect. Nous
vous remercions pour votre accueille et vos conseils.

Veuillez trouver ici, l'expression de nos gratitude et de notre grande estime.

Nos remerciements vont aussi aux membres de notre jury Nous remercions le président du
Nous remercions également Mme Abdelaziz Widad, enseignante et chef département de
microbiologie, Ratiba, ingénieur de laboratoire, Sadek, ingénieur de laboratoire, monsieur
Chihoub Saleh et Mme Smira, ingénieurs de laboratoire au sein du centre de recherche en
biotechnologie ingénieur laboratoire pour leur aide.

Nous remercions également les membres à nos familles et nos amis .

Dédicace

إلهي لا يطيب الليل إلا بشكرك ولا يطيب النهار إلا بطاعتك
ولا تطيب اللحظات إلا بذكرك.. ولا تطيب الآخرة إلا بعفوك ... وال تطيب الجنة إلا برؤيتك
الله جل جلاله

إلى من بلغ الرسالة وأدى الأمانة.. ونصح الأمة.. إلى نبي الرحمة ونور العالمين
سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم

إلى من كلله الله بالهيبة والوقار.. إلى الذي أوصاني الله به برأ وأحسانا وأهدى لي سني عمرى الذي احنى
ضهره التعب

في سبيل وصولي لهذه المرحلة والذي الحبيب إلى من علمني العطاء بدون انتظار.. إلى من أحمل اسمه بكل
افتخار..

أول أسباب نجاحي وأجمل نعم هلاعا علـى
مالكـي فيـ الـ حـيـاـهـ .. إـلـىـ معـنـىـ الـ حـنـانـ وـالـ تـفـانـيـ .. إـلـىـ بـسـمـةـ الـ حـيـاـهـ وـسـرـ الـ وـجـوـدـ إـلـىـ مـاـ كـانـ

دعـائـهـ سـرـ نـجـاحـيـ

وـحـانـهـ بـلـسـمـ جـراـحـيـ إـلـىـ أـغـلـىـ الـ حـبـاـبـ

أـمـيـ الـ حـبـيـبـةـ

إـلـىـ إـخـوـتـيـ الـ أـعـزـاءـ، شـرـكـاءـ الطـفـولـةـ وـدـاعـمـيـ النـجـاحـ،

إـلـىـ أـصـدـقـائـيـ الـ أـعـزـاءـ، رـفـاقـ الدـرـبـ وـالـسـنـدـ فـيـ كـلـ مـوـقـفـ، أـنـتـمـ مـنـ جـعـلـتـمـ رـحـلـةـ الـدـرـاسـةـ مـمـتـعـةـ مـلـيـنـةـ بـالـذـكـرـيـاتـ،

كـنـتـمـ بـمـثـابـةـ الـعـائـلـةـ الثـانـيـةـ، شـارـكـونـيـ الـحـزـنـ قـبـلـ الـفـرـحـ، وـشـجـعـونـيـ فـيـ كـلـ خـطـوةـ

أـهـدـيـ هـذـاـ النـجـاحـ الـمـتـوـاضـعـ إـلـىـ مـنـ آـمـنـ بـيـ وـسـاـهـمـ فـيـ رـحـلـتـيـ وـدـعـمـنـيـ فـيـ كـلـ خـطـوةـ لـمـ زـادـ شـفـقـيـ وـأـشـعلـ فـيـ

شـعـلـةـ الـطـمـوـحـ

إـلـىـ مـنـارـةـ الـعـلـمـ جـامـعـةـ مـنـتـورـيـ إـلـىـ الـذـيـ حـمـلـواـ أـقـدـسـ رسـالـةـ فـيـ الـحـيـاـهـ إـلـىـ الـذـيـ مـهـدوـ لـنـاـ

طـرـيـقـ الـعـلـمـ وـالـمـعـرـفـةـ.. أـسـانـدـتـنـاـ الـأـفـاضـلـ

Liste des abréviations :

- **BMC** : Business Model Canvas.
- **NA** : Norme Algérienne (ex. : *NA 4567* pour engrais organiques).
- **CO₂** : Dioxyde de carbone.
- **EPI** : Équipements de Protection Individuelle.
- **INRA** : Institut National de la Recherche Agronomique.
- **RSE** : Responsabilité Sociétale des Entreprises.
- **DA** : Dinar Algérien.
- **PME** : Petites et Moyennes Entreprises.
- **ANSEJ** : Agence Nationale de Soutien à l'Emploi des Jeunes.
- **AND** : Agence Nationale des Déchets.
- **BADR** : Banque de l'agriculture et du développement rural.

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Propriétés des cheveux comme matière compostable.....	10
Tableau 2 : La composition chimique des cheveux.....	10
Tableau 3 : La source et les propriétés clés des cheveux.....	19
Tableau 4 : Les différents objectifs à atteindre.....	21
Tableau 5 : Indicateurs de succès.....	22
Tableau 6 : phase de préparation et développement (Mois 1–6).....	23
Tableau 7 : Phase de lancement pilote (Mois 7–12).....	23
Tableau 8 : Phase d'expansion (Mois 13–24).....	24
Tableau 9 : phase de maturité (Mois 25–36).....	24
Tableau 10 : Les différentes catégories des clients potentiels pour le produits.....	27
Tableau 11 : Les différents canaux de distribution produit.....	29
Tableau 12 : les différentes étapes de production de produit	31
Tableau 13 : Risques potentiels et solutions envisagées.....	34
Tableau 14 : Structure des effectifs et masse salariale mensuelle.....	36
Tableau 15 : Investissements initiaux en équipements de production.....	37
Tableau 16 : Coûts fixes mensuels d'exploitation.....	39
Tableau 17 : Coûts variables mensuels liés à la production.....	40
Tableau 18 : Synthèse des coûts d'exploitation mensuels et annuels.....	41
Tableau 19 : Sources de prêts disponibles avec leurs conditions et avantages.....	42
Tableau 20 : Subventions institutionnelles et aides pour projets écologiques.....	43
Tableau 21 :Business Model Canvas.....	44
Tableau 22 : Résultats des analyses des paramètres physico-chimiques.....	46
Tableau 23 : Synthèse des Données Expérimentales.....	48

Liste des figures :

Figure 1 : fonctionnement d'un composteur.....	5
Figure 2 : Les déchets acceptés dans le sac pour déchets organiques.....	7
Figure 3 : les différents canaux de distribution de notre produit.....	30
Figure 4 : Structure organisationnelle fonctionnelle centrée sur les opérations clés.....	33
Figure 5 : Notre Prototype	45
Figure 6 : Salon de coiffure.....	46
Figure 7 : Triage des cheveux.....	46
Figure 8 : Lavages fréquents des cheveux.....	47
Figure 9 : Séchage des cheveux.....	47
Figure 10 : Culture de la Bactérie <i>Bacillus Subtilis</i>	48
Figure 11 : Peser les cheveux à l'aide d'une balance électronique.....	48
Figure 12 : Placée de 5 grammes de cheveux dans un flacon contenant 100 ml de solution bactérienne.....	49
Figure 13 : Incubation de l'échantillon	49
Figure 14 : Mesure de Ph avec le pH mètre	50
Figure 15 : Mesure de conductivité avec la conductivité mètre	50
Figures 16, 17 : mesure de l'azote par la méthode Kjeldahl	51

Résumé :

Nutrisol est un fertilisant liquide nouvelle génération conçu pour relever les défis environnementaux et agronomiques de l'Algérie. Issu de la valorisation de déchets organiques locaux, il remplace les engrains chimiques par une alternative écologique, réduisant la pollution des sols et la dépendance aux intrants synthétiques. Sa formulation cible spécifiquement la régénération des terres arides ou dégradées et optimise la rétention d'eau – un enjeu crucial dans les régions semi-arides du pays.

Ce biofertilisant se distingue par son pH neutre (7.8), sa teneur équilibrée en azote total (599 mg/L) et en carbone organique (1909 ppm). Sa conductivité électrique particulièrement basse (42.3 µS/cm) reflète une concentration minérale réduite, nécessitant une caractérisation complémentaire pour en déterminer l'origine (dilution, matière première ou procédé d'extraction). Malgré cette singularité, Nutrisol offre des avantages clés : stimulation de l'activité microbienne, enrichissement en nutriments biodisponibles, et décomposition sans résidus toxiques. Il incarne ainsi une solution circulaire, transformant les déchets en ressources pour une agriculture résiliente et respectueuse des écosystèmes algériens.

Mots-clés :

Nutrisol (Nom propre du produit), Biofertilisant, Valorisation des déchets, Régénération des sols, Paramètres physico-chimiques (ph, conductivité, azote)

Summary:

Nutrisol is a next-generation liquid fertilizer designed to address Algeria's environmental and agronomic challenges. Sourced from the valorization of local organic waste, it replaces chemical fertilizers with an ecological alternative, reducing soil pollution and dependence on synthetic inputs. Its formulation specifically targets the regeneration of arid or degraded lands and optimizes water retention – a critical issue in the country's semi-arid regions.

This biofertilizer is distinguished by its neutral pH (7.8), balanced total nitrogen content (599 mg/L), and organic carbon (1909 ppm). Its particularly low electrical conductivity (42.3 μ S/cm) reflects reduced mineral concentration, requiring further characterization to determine its origin (dilution, raw material, or extraction process). Despite this singularity, Nutrisol offers key benefits: stimulation of microbial activity, enrichment of bioavailable nutrients, and decomposition without toxic residues. It thus embodies a circular solution, transforming waste into resources for resilient and Algerian ecosystem-friendly agriculture.

Keywords:

Nutrisol, Biofertilizer, Waste valorization, Soil regeneration, Physicochemical parameters

ملخص

نوتريسول هو سلسلة من المنتجات الجديدة المصممة لمواجهة التحديات البيئية والزراعية في الجزائر. ناتج عن تحويل النفايات العضوية المحلية، يحل محل الأسمدة الكيميائية بديل إيكولوجي، مما يقلل من تلوث التربة والاعتماد على المدخلات الصناعية. تستهدف تركيبته بشكل خاص تجديد الأراضي الفاصلة أو المتدورة وتحسين احتباس المياه – تحد حاسم في المناطق شبه الفاصلة بالبلاد.

يتميز هذا السماد الحيوي بدرجة حموضة متعادلة (7.8)، ومحتوى متوازن من النيتروجين الكلى (599 ملخ/لتر) والكربون العضوي (1909 جزء في المليون). تعكس موصليته الكهربائية المنخفضة جداً (42.3 ميكرو سيمنز/سم) تركيزاً معننياً منخفضاً، مما يتطلب توصيفاً تكميلياً لتحديد مصدره (التحفيف، المادة الخام، أو عملية الاستخراج). رغم هذه الخصوصية، يقدم نوثريسول فوائد رئيسية: تحفيز النشاط الميكروبي، وإثراء المغذيات المتاحة حيوياً، والتحلل دون مخلفات سامة. يجسد بذلك حلّاً دائرياً يحول النفايات إلى موارد لزراعة مرنّة ومحترمة للنظام الإيكولوجي الجزائري.

الكلمات المفتاحية:

نوتريسول، السماد الحيوي، تحويل النفايات، تجديد التربة، المعايير الفيزيوكيميائية

Table des matières

Remerciements
Dédicace
Liste des abréviations :
Liste des Tableaux
Liste des figures :
Résumé :
Summary :
Table des matières
Introduction :
	1

Synthèse bibliographique

1 . Introduction au compostage biologique :	4
1.1Définition du compostage :	4
1.2Principes du compostage :	4
1.3Historique et évolution du compostage :	5
2 . Compostage et valorisation des déchets organiques :	6
2.1Types de déchets organiques utilisés en compostage :	6
2.1.1 Déchets alimentaires :	7
2.1.2 Résidus agricole.....	7
2.1.3 Déchets verts (feuilles, branches, etc.) :	8
2.1.4 Déchets industriels biodégradables :	8
2.2Avantages environnementaux du compostage :	9
3 . Les cheveux comme matière organique dans le compostage :	9
3.1Propriétés des cheveux comme matière compostable :	10
3.1.1 Composition chimique des cheveux :	10
3.1.2 Taux de biodégradabilité :	11
3.1.3 Rétention d'humidité et structure fibreuse :	11

3.2Études et recherches sur l'intégration des cheveux dans le compostage :	11
4 . Impact des cheveux sur la qualité du compost :.....	12
4.1Effets sur la structure et la texture du compost :.....	12
4.2Influence sur les propriétés physico-chimiques du compost :.....	12
5 . Facteurs influençant le processus de compostage avec cheveux :.....	13
5.1Température :.....	13
5.2Humidité :	13
5.3Aération :	14
6 . Durée du processus de compostage :	14
7 . Bénéfices et défis du compostage avec cheveux :	14
7.1Avantages écologiques et économiques :	15
7.2Limites et obstacles techniques :.....	15
8 . Pratiques actuelles et innovations dans le compostage avec cheveux :	15
9 . Les nutriments essentiels de la croissance végétale :	16
9.1Azote (N)	16
9.2Phosphore (P)	16
9.3Potassium (K)	16
10 . Paramètres physico-chimiques régulateurs :	16
10.1Ph du sol :	16
10.2Conductivité électrique :.....	17
11 . Matière organique et Corbone :.....	17

partie pratique:

Carte d'information.....
---------------------------------	--------------

chapitre 1 : Présentation du projet

1. Idée de projet (solution proposée) :	18
1.1 Problématique :	18
1.2 Solution :.....	18

2. Les valeurs ajoutées :	18
3. La matière première :	19
4. L'équipes de travail :	20
5. L'objectif de projet :	20
5.1 Objectif Principal :	20
5.2 Objectifs Spécifiques :	21
5.3 Objectifs à Court/Moyen Terme :	21
6. Calendrier de réalisation :	23

Chapitre 2 : Aspect Innovants

1. Nature et Domaines des Innovations :	25
1.1 Innovation Technologique :	25
1.2 Innovation Environnementale :	25
1.3 Innovation Économique	25
1.4 Innovation Sociale :	26

Chapitre 3 : Analyse Stratégique Du Marché

1. Les Clients Potentiels :	27
2. Le Marché Ciblé :	27
3. Intensité de la concurrence :	27
4. Stratégie commerciale :	28
4.1 Positionnement :	28
4.2 Canaux de Distribution :	29

Chapitre 4 : Plan De Production Et D'organisation

1. Processus de Production :	31
2. Gestion des matières premières et déchets :	32
3. Équipements et technologies :	32
4. Structure Organisationnelle :	33
5. Contrôle Qualité et Sécurité :	34
6. Risques et Mesures d'Atténuation :	34

chapitre 5 : plan financier

1. Les fonctionnaires :	35
1.1 Postes de travail :	35
2. Équipements Principaux :	36
3. Couts fixes :	38
4. Coûts Variables (Mensuels)	39
5. Total des Coûts (Fixes + Variables).....	41
6. Le chiffre d'affaires :	41
7. Modes et sources d'obtention de financement :	42
7.1 Financement Externe :	42
7.2 Subventions et Aides Publiques :	43

Chapitre 6 : Business Model Canvas

1. Business Model Canvas	44
--------------------------------	-----------

Chapitre 7 : Prototype

1. Prototype :	45
2. Matériel et méthodes :	45
2.1 La phase de préparation :	45
2.1.1. Collecte ::	46
2.1.2 Triage :	46
2.1.3 Lavages fréquents :	47
2.1.4 Séchage :	47
2.2 Phase d'incubation :	48
2.2.1 Préparation de la solution bactérienne :	48
2.2.2 Préparation de l'échantillon.....	48
2.2.3 Incubation de l'échantillon :	49
3. Phase d'analyse des paramètres physico-chimiques :	49
4. Comparaison expérimentale :	52
4.1 pH (7.8)	52
4.2 Conductivité électrique (42.3 µS/cm) :	52

4.3 Phosphore (0.915 mg/L)	53
4.4 Azote total (599 mg/L)	53
4.5 Carbone total & Rapport C/N (3.2)	53
5. Implications Techniques	54
Conclusion	
Conclusion.....	55
Références bibliographiques	
Références bibliographiques.....	57

Introduction

Introduction

Introduction :

L'Algérie, à l'instar de nombreuses nations en développement, se trouve confrontée à des défis environnementaux et agricoles d'envergure. La gestion des déchets, en particulier ceux d'origine capillaire, représente une problématique grandissante, tandis que le secteur agricole subit les conséquences de la dégradation des sols, largement imputable à l'usage intensif d'engrais chimiques. Ces enjeux majeurs soulignent l'impératif de concevoir des solutions novatrices et durables, aptes à concilier les exigences écologiques avec les impératifs économiques. Dans ce contexte, la valorisation des ressources endogènes et l'adoption de pratiques agricoles respectueuses de l'environnement s'imposent comme des priorités stratégiques.

Le volume considérable de cheveux jetés annuellement en Algérie représente une ressource sous-exploitée. Ces déchets, souvent perçus comme insignifiants, sont en réalité une source riche en kératine, une protéine essentielle à la croissance végétale en raison de sa forte teneur en azote. Parallèlement, l'agriculture algérienne est de plus en plus dépendante des fertilisants chimiques, dont l'emploi excessif engendre une détérioration des sols, une contamination des eaux et une diminution de la biodiversité.

Ce modèle agricole, bien que potentiellement productif à court terme, s'avère insoutenable sur le long terme, nécessitant une transition impérative vers des méthodes plus durables et écologiquement responsables. L'absence de solutions locales, écologiques et économiquement accessibles pour l'amendement des sols exacerbe cette situation, créant un besoin pressant d'alternatives viables.

Face à cette double problématique, le projet Nutrisol se présente comme une réponse novatrice et prometteuse. L'hypothèse fondamentale de cette recherche suggère que la transformation biotechnologique des déchets capillaires, facilitée par l'action enzymatique de la souche *Bacillus subtilis*, peut aboutir à la production d'un fertilisant organique liquide. Ce produit, riche en nutriments essentiels et économiquement avantageux, contribuerait ainsi

Introduction

à la réduction du gaspillage capillaire et à la promotion d'une agriculture plus respectueuse de l'environnement en Algérie. Cette proposition sera examinée et validée par une analyse approfondie du processus de transformation, une évaluation rigoureuse de la qualité du fertilisant obtenu et une étude de son potentiel d'application dans le domaine agricole.

L'objectif principal de ce mémoire est de démontrer la faisabilité technique et la pertinence environnementale et économique de la valorisation des déchets capillaires en fertilisant organique en Algérie, à travers le développement et l'évaluation du projet Nutrisol. Pour ce faire, plusieurs objectifs spécifiques ont été définis :

- Évaluer le potentiel de collecte des déchets capillaires en Algérie et établir un système de collecte ciblé.
- Optimiser le processus de dégradation de la kératine par la souche bactérienne

Bacillus subtilis.

- Caractériser le fertilisant organique liquide produit et évaluer son efficacité agronomique.
- Analyser la viabilité économique du projet Nutrisol et son potentiel de marché en Algérie.
- Mettre en évidence les impacts environnementaux et sociaux positifs du projet.

La pertinence de cette investigation est multiple. Sur le plan pratique et sociétal, le projet Nutrisol apporte une réponse concrète à deux enjeux majeurs en Algérie : la gestion des déchets capillaires et la dépendance aux engrains chimiques. En transformant un déchet en une ressource de valeur, il s'inscrit pleinement dans les principes de l'économie circulaire, contribuant ainsi à la régénération des sols, à la diminution de la pollution et à la création d'emplois durables. Sur le plan théorique, cette étude enrichit la compréhension de l'application de la biotechnologie microbienne pour la valorisation des résidus organiques, en particulier la dégradation de la kératine par *Bacillus subtilis*, un domaine en pleine

Introduction

expansion. L'originalité de cette recherche réside dans l'approche holistique proposée par Nutrisol, qui intègre l'innovation technologique (souche bactérienne optimisée, procédé accéléré), l'impact environnemental (économie circulaire, neutralité carbone), l'opportunité économique (modèle à faible coût, nouveau marché) et l'innovation sociale (emplois verts, sensibilisation, santé publique), le tout dans le contexte spécifique de l'Algérie.

Sur le plan méthodologique, cette recherche s'appuie sur une approche combinant des expérimentations en laboratoire visant l'optimisation du processus de fermentation et la caractérisation du fertilisant, ainsi que des essais sur le terrain, menés en collaboration avec des agriculteurs, pour évaluer l'efficacité agronomique du produit. La phase pilote de collecte des cheveux et la mise en place d'un système de tri et de stockage hygiénique constituent également des aspects cruciaux de la méthodologie. Les données recueillies feront l'objet d'une analyse approfondie afin de valider l'hypothèse initiale et d'atteindre les objectifs fixés. Ce mémoire est articulé en deux chapitres. La première partie est consacrée à la recherche bibliographique concernant notre thématique. La deuxième partie se concentre sur le Business Model Canvas (BMC), incluant le prototype et le plan financier.

Synthèse bibliographique

1 Introduction au compostage biologique :

Le compostage biologique est un processus naturel de décomposition des matières organiques en présence d'oxygène. Il transforme les déchets en un amendement riche en nutriments, connu sous le nom de compost. Essentiel pour une gestion durable des déchets, ce processus repose sur l'action conjointe de micro-organismes (bactéries, champignons) et de macro-organismes (vers, insectes). Depuis l'Antiquité, des civilisations comme celles de Chine et de Mésopotamie utilisaient déjà le compostage pour enrichir leurs sols agricoles (Epstein, 2017).

1.1 Définition du compostage :

Le compostage est un processus naturel, mais contrôlé, qui transforme les déchets organiques en un amendement riche en nutriments, appelé compost. Il repose sur la décomposition des matières organiques grâce à l'action conjointe des micro-organismes (bactéries, champignons) et des macro-organismes (vers, insectes) en présence d'oxygène. Le produit final est une matière stable, semblable à l'humus, qui améliore la structure du sol, renforce sa fertilité et favorise la croissance des plantes (**Haug, 1993**).

1.2 Principes du compostage :

Le compostage repose sur quatre principes fondamentaux qui garantissent une décomposition efficace et de qualité. Tout d'abord, l'équilibre entre le carbone et l'azote (C/N) est essentiel, avec un rapport optimal compris entre 25:1 et 30:1. Ensuite, le taux d'humidité doit être maintenu entre 50 % et 60 % afin de favoriser l'activité des micro-organismes. L'aération joue également un rôle clé : elle prévient la fermentation anaérobie et limite l'apparition de mauvaises odeurs. Enfin, la température influence directement le processus : durant la phase active, elle peut atteindre 50 à 70 °C, accélérant ainsi la décomposition et éliminant les pathogènes (**Epstein, 2017**).



Figure 1 : fonctionnement d'un composteur.

Source : <https://www.villes-soeurs.fr/vie-quotidienne/dechets/compostage/>

1.3 Historique et évolution du compostage :

Le compostage est une pratique ancestrale qui remonte à plusieurs millénaires. Dès l'Antiquité, les agriculteurs de Mésopotamie et de Chine utilisaient des déchets organiques pour enrichir leurs sols. Les Grecs et les Romains ont également adopté cette technique, conscients de ses bienfaits sur la fertilité des terres.

Au Moyen Âge, les moines européens ont perfectionné le compostage dans leurs jardins monastiques, tandis qu'à la Renaissance, des agronomes comme Olivier de Serres ont documenté et amélioré ses méthodes. Plus récemment, au XX^e siècle, des pionniers tels que Sir Albert Howard ont ravivé l'intérêt pour le compostage en développant des approches systématiques, comme la "méthode Indore" (**Howard, 1943**).

Aujourd'hui, le compostage est devenu une solution incontournable pour la gestion durable des déchets et la lutte contre le changement climatique, avec des techniques modernes telles que le compostage industriel et le lombricompostage.

2 Compostage et valorisation des déchets organiques :

Le compostage joue un rôle essentiel dans la valorisation des déchets organiques, en transformant des matières souvent perçues comme des "déchets" en ressources précieuses pour l'agriculture et l'environnement. Il permet non seulement de réduire la quantité de déchets envoyés en décharge, mais aussi de produire un amendement naturel qui améliore la santé des sols et favorise une agriculture durable.

Les déchets organiques, tels que les restes alimentaires, les résidus agricoles et les déchets verts, constituent une part importante des déchets municipaux et industriels. Sans gestion appropriée, ils peuvent entraîner une pollution de l'air, de l'eau et des sols, notamment par l'émission de méthane dans les décharges, un gaz à effet de serre particulièrement puissant. Le compostage offre une alternative écologique en transformant ces déchets en compost, un produit riche en nutriments qui améliore la structure des sols, renforce leur fertilité et accroît leur capacité de rétention en eau (**Bernal *et al.*, 2009**).

2.1 Types de déchets organiques utilisés en compostage :

Le compostage repose sur l'utilisation de différents types de déchets organiques, chacun jouant un rôle spécifique dans le processus de décomposition. Les déchets alimentaires, comme les épluchures de fruits et légumes, les restes de repas et le marc de café, sont riches en azote et agissent comme de puissants activateurs de compost. Les résidus agricoles, tels que la paille et les fumiers, apportent une structure fibreuse et constituent une source précieuse d'azote. De leur côté, les déchets verts, comme les feuilles mortes et les tontes de gazon, fournissent du carbone et améliorent l'aération du compost. Enfin, certains déchets biodégradables issus de l'industrie, tels que les coques de noix et les pulpes de fruits, peuvent être compostés à grande échelle, à condition de s'assurer qu'ils ne contiennent pas de contaminants (**Kumar *et al.*, 2010**).



Figure 2 : Les déchets acceptés dans le sac pour déchets organiques

Source : <https://www.olln.be/fr/vivre-a-olln/dechets/collecte-et-tri-dechets/dechets-organiques>

2.1.1 Déchets alimentaires :

Les déchets alimentaires constituent l'une des sources les plus courantes et précieuses de matières organiques pour le compostage. Ils incluent les épluchures de fruits et légumes, les restes de repas, les coquilles d'œufs, le marc de café et les sachets de thé. Riches en azote, ces déchets jouent un rôle clé dans l'activation du processus de compostage en favorisant le développement des micro-organismes responsables de la décomposition.

Chaque type de déchet alimentaire apporte des éléments spécifiques : les épluchures et les restes de fruits offrent une humidité naturelle et une grande richesse en nutriments, tandis que les coquilles d'œufs fournissent du calcium, bénéfique pour la structure du sol. Toutefois, certains déchets, comme les aliments gras, les produits laitiers et les viandes, doivent être évités, car ils peuvent générer des odeurs désagréables et attirer des nuisibles (**Bernal et al., 2009**).

2.1.2 Résidus agricoles :

Les résidus agricoles, tels que la paille, les tiges, les feuilles, les fanes de légumes et les fumiers d'animaux, jouent un rôle essentiel dans le compostage. Riches en carbone, ces matériaux contribuent à équilibrer le rapport carbone/azote (C/N), un facteur clé pour assurer une décomposition efficace.

Les pailles et les tiges, par exemple, sont des matériaux fibreux qui se décomposent lentement, ce qui en fait d'excellentes sources de carbone pour un compost de longue

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

durée. De leur côté, les fumiers d'animaux, comme ceux de vache, de cheval ou de volaille, sont particulièrement précieux en raison de leur forte teneur en azote et en micro-organismes bénéfiques, qui accélèrent le processus de compostage (**Singh & Agrawal, 2008**).

Toutefois, il est essentiel de veiller à ce que ces résidus ne contiennent pas de pesticides ou d'autres substances chimiques pouvant altérer la qualité du compost.

2.1.3 Déchets verts (feuilles, branches, etc.) :

Les déchets verts, tels que les feuilles mortes, les tontes de gazon, les petites branches et les fleurs fanées, sont des matières organiques riches principalement en carbone. Ils jouent un rôle essentiel dans l'équilibre du rapport carbone/azote (C/N) du compost et améliorent sa structure en facilitant une bonne aération. Les feuilles mortes se décomposent lentement et sont idéales pour produire un compost de longue durée, tandis que les tontes de gazon, plus riches en azote, se décomposent rapidement. Cependant, elles doivent être utilisées avec modération pour éviter la formation de mottes compactes (**Rynk, 1992**). Les petites branches et les résidus de taille, bien que plus longs à se décomposer, apportent une structure solide au compost et favorisent la circulation de l'air. Il est cependant important de broyer ou de couper les branches épaisses et de mélanger les déchets verts avec des matières riches en azote pour maintenir un équilibre optimal.

2.1.4 Déchets industriels biodégradables :

Les déchets industriels biodégradables, tels que les pulpes de fruits, les drêches de brasserie ou les coques de noix, proviennent de processus industriels et sont riches en nutriments. Ces résidus constituent des activateurs de compost efficaces et offrent aux industries une solution pour réduire les coûts de gestion des déchets.

Les drêches de brasserie sont particulièrement riches en azote et en carbone, tandis que les coques de noix, grâce à leur texture fibreuse, améliorent la structure du compost (**Kumar *et al.*, 2010**). Toutefois, leur emploi exige une attention particulière pour prévenir la contamination chimique (pesticides, métaux lourds) et peut nécessiter un broyage préliminaire des matériaux les plus tenaces.

2.2 Avantages environnementaux du compostage :

Le compostage présente des avantages environnementaux considérables. Tout d'abord, il permet de réduire la quantité de déchets envoyés en décharge, où ceux-ci génèrent du méthane, un gaz à effet de serre particulièrement puissant (**Lal, 2004**). De plus, le compost enrichit les sols en carbone organique, contribuant ainsi à la séquestration du CO₂ et à l'amélioration de leur fertilité. Il aide également à prévenir la pollution des eaux en remplaçant les engrains chimiques, dont les résidus favorisent l'eutrophisation des cours d'eau.

Enfin, le compostage incarne pleinement le principe de l'économie circulaire en transformant les déchets en ressources locales, ce qui réduit l'empreinte carbone liée au transport des matières. Ces différents bénéfices en font un outil essentiel pour une gestion durable des ressources et la lutte contre le changement climatique.

3 Les cheveux comme matière organique dans le compostage :

Les cheveux, principalement composés de kératine, représentent une source intéressante d'azote et de structure pour le compost. Avec une teneur en azote de 12 à 15 %, ils favorisent la décomposition des matières carbonées, telles que les feuilles mortes ou les branches (**Robbins, 2012**). Leur texture fibreuse améliore l'aération du compost, tandis que leur capacité à retenir l'humidité soutient l'activité microbienne. Cependant, leur décomposition étant relativement lente, un broyage préalable est nécessaire, ainsi qu'un mélange avec des déchets riches en azote pour optimiser le processus. Il convient également d'éviter les cheveux traités chimiquement, en raison des risques de contamination (**Gupta & Ramnani, 2006**). Des initiatives comme la collecte de cheveux dans les salons de coiffure illustrent leur potentiel dans une gestion circulaire des déchets.

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

3.1 Propriétés des cheveux comme matière compostable :

Tableau 1 : Propriétés des cheveux comme matière compostable.

Propriétés des cheveux	Description
Composition	Principalement constitués de kératine
Teneur en azote	12 à 15 %, source précieuse pour activer la décomposition
Structure fibreuse	Améliore l'aération du compost
Rétention d'humidité	Favorise l'activité microbienne
Dégradation lente	Due à la résistance de la kératine
Méthodes d'accélération	Broyage et mélange avec des matières riches en azote

3.1.1 Composition chimique des cheveux :

Tableau 2 : La composition chimique des cheveux.

Caractéristiques des cheveux	Description
Composition principale	Kératine, protéine fibreuse riche en soufre (3 à 5 %)
Acide aminé clé	Cystéine
Teneur en carbone	45 à 50 %
Teneur en azote	15 à 17 %
Teneur en oxygène	20 à 25 %
Teneur en hydrogène	6 à 7 %
Rôle dans le compost	Ajuste le rapport C/N grâce à sa richesse en azote
Présence de minéraux	Traces de fer, zinc, etc.
Risque potentiel	Contamination par des métaux lourds issus de l'environnement ou des produits capillaires

3.1.2 Taux de biodégradabilité :

Les cheveux se dégradent lentement dans le compost en raison de leur teneur en kératine, une protéine résistante aux enzymes classiques. Leur décomposition nécessite l'intervention de micro-organismes spécialisés, comme *Bacillus* ou *Trichophyton*, qui produisent des kératinases capables de décomposer les liaisons disulfures (**Gupta & Ramnani, 2006**).

Des études montrent même une dégradation en seulement 60 jours lorsqu'on utilise des souches bactériennes optimisées (**Gurav & Jadhav, 2013**).

Ces données mettent en évidence l'importance de contrôler les conditions du compost pour valoriser efficacement les cheveux.

En broyant les cheveux et en les mélangeant à des matières riches en azote, leur biodégradabilité peut être accélérée, réduisant le temps de dégradation de 6 à 12 mois à 3 à 6 mois.

3.1.3 Rétention d'humidité et structure fibreuse :

Les cheveux possèdent une structure fibreuse unique qui améliore l'aération du compost et prévient son compactage. Leurs fibres longues et fines créent des espaces permettant une circulation optimale de l'oxygène, ce qui est essentiel pour une décomposition efficace (**Robbins, 2012**).

De plus, les cheveux ont une capacité naturelle à retenir l'eau, ce qui permet de maintenir un taux d'humidité idéal pour les micro-organismes. Cette propriété est particulièrement utile pour équilibrer le compost, en évitant à la fois un excès d'humidité et une sécheresse excessive (**Epstein, 2017**).

3.2 Études et recherches sur l'intégration des cheveux dans le compostage :

Plusieurs études ont exploré l'intégration des cheveux dans le compostage, mettant en évidence leur potentiel en tant que matière organique valorisable. Par exemple, **Gurav et Jadhav (2013)** ont montré que des bactéries spécialisées, telles que *Chryseobacterium*, peuvent décomposer les cheveux en 60 jours sous des conditions optimales de température et d'humidité.

D'autres recherches, comme celle de **Gupta et Ramnani (2006)**, ont confirmé que

les cheveux améliorent la qualité du compost en apportant de l'azote, en augmentant la porosité et en retenant l'humidité. Ces travaux soulignent également les avantages environnementaux de cette pratique, notamment la réduction des déchets et la séquestration du carbone.

4 Impact des cheveux sur la qualité du compost :

Les cheveux améliorent considérablement la qualité du compost grâce à leur structure fibreuse et à leur composition chimique unique. Leur texture légère favorise une aération optimale, évitant ainsi le compactage et les zones anaérobies (Epstein, 2017). Sur le plan chimique, ils apportent 12 à 15 % d'azote, ce qui enrichit le compost en nutriments essentiels pour les plantes et permet d'équilibrer le rapport carbone/azote (C/N) lorsqu'ils sont mélangés à des matières riches en carbone (**Bernal et al., 2009**).

Cependant, il est important d'éviter l'utilisation de cheveux traités chimiquement en raison des risques de contamination (**Robbins, 2012**).

4.1 Effets sur la structure et la texture du compost :

Les cheveux améliorent de manière significative la structure et la texture du compost grâce à leur nature fibreuse. Leurs fibres créent des espaces aérés, facilitant ainsi la circulation de l'oxygène et évitant le compactage des matières organiques (**Epstein, 2017**). De plus, leur capacité à retenir l'humidité aide à stabiliser le taux d'eau dans le compost, ce qui est essentiel pour l'activité microbienne. Ces propriétés confèrent au compost une texture friable et homogène, idéale pour l'amendement des sols (**Robbins, 2012**).

4.2 Influence sur les propriétés physico-chimiques du compost :

Les cheveux enrichissent le compost en azote (12-15 %) et en carbone (45-50 %), contribuant ainsi à équilibrer le rapport C/N pour une décomposition optimale (Bernal et al., 2009). Leur teneur en soufre et en oligo-éléments, tels que le fer et le zinc, favorise la fertilité des sols, tandis que leur pH neutre prévient toute acidification excessive (**Epstein, 2017**). Toutefois, il faut mentionner ici que l'utilisation des cheveux traités chimiquement est à éviter en raison des risques de contamination par des métaux lourds ou des résidus de produits capillaires (**Robbins, 2012**).

5 Facteurs influençant le processus de compostage avec cheveux :

Le compostage des cheveux repose sur plusieurs facteurs clés qui sont :

- La température doit être maintenue entre 50 et 70 °C durant la phase thermophile afin d'activer les micro-organismes capables de dégrader la kératine (**Epstein, 2017**).
- L'humidité optimale (50-60 %) est essentielle pour soutenir l'activité microbienne, et les cheveux contribuent à sa stabilisation grâce à leur capacité à retenir l'eau.
- L'aération joue également un rôle crucial : la structure fibreuse des cheveux favorise la circulation de l'air, tandis qu'un retournement régulier du compost prévient le compactage (**Gurav & Jadhav, 2013**).
- Enfin, la durée du processus varie de 3 à 12 mois selon les conditions, mais peut être réduite grâce à un broyage préalable et l'ajout d'activateurs (**Robbins, 2012**).

5.1 Température :

Dans le processus de compostage des cheveux, La température joue un rôle central. Au cours de la phase thermophile (50-70 °C), des micro-organismes spécialisés dégradent efficacement la kératine, une protéine extrêmement résistante, grâce à des enzymes particulières (**Gurav & Jadhav, 2013**). Cette étape est aussi cruciale pour éliminer les pathogènes et les graines de mauvaises herbes. En revanche, une température trop basse freine la décomposition, alors qu'une chaleur excessive peut tuer les micro-organismes utiles (**Epstein, 2017**). Il est donc crucial de surveiller et de maintenir la température dans cette plage optimale pour assurer un compostage efficace.

5.2 Humidité :

L'humidité est un facteur clé dans le compostage des cheveux. Un taux optimal **de 50 à 60 %** est indispensable pour stimuler l'activité des micro-organismes décomposeurs et favoriser la dégradation de la kératine (**Epstein, 2017**). Grâce à leur structure poreuse, les cheveux agissent comme une éponge naturelle, absorbant l'excès d'eau et le restituant progressivement afin de maintenir un équilibre hydrique. Toutefois, un compost trop sec ralentit la décomposition, tandis qu'un excès d'humidité peut provoquer des odeurs désagréables et favoriser le développement de pathogènes (**Robbins, 2012**).

5.3 Aération :

L'aération est un facteur clé pour un compostage efficace des cheveux. Elle garantit un apport constant d'oxygène aux micro-organismes aérobies, essentiels à la décomposition de la matière organique, y compris la kératine des cheveux (**Epstein, 2017**). Grâce à leur structure fibreuse, les cheveux favorisent naturellement la circulation de l'air et limitent le compactage du compost (**Robbins, 2012**). Cependant, une aération insuffisante peut entraîner une fermentation anaérobie, générant des gaz malodorants et ralentissant le processus de dégradation. Pour éviter ce problème, il est recommandé de retourner régulièrement le compost et d'y intégrer des matériaux structurants comme les cheveux.

6 Durée du processus de compostage :

La durée du compostage des cheveux varie de 3 à 12 mois, selon leur prétraitement et les conditions environnementales. Sans broyage ni activateurs, les cheveux mettent jusqu'à un an à se décomposer en raison de la résistance de la kératine (**Robbins, 2012**). Cependant, en les broyant et en les mélangeant à des déchets riches en azote, la durée peut être réduite à 3-6 mois en compostage domestique, et à **60-90 jours** en conditions industrielles contrôlées (**Gurav & Jadhav, 2013**). Ces résultats soulignent l'importance d'optimiser les paramètres du compostage pour accélérer le processus (**Epstein, 2017**).

7 Bénéfices et défis du compostage avec cheveux :

Le compostage des cheveux présente des avantages écologiques et économiques majeurs, notamment la réduction des déchets, l'enrichissement des sols et la séquestration du carbone (**Epstein, 2017**). Cependant, il soulève aussi des défis techniques, comme la lente décomposition de la kératine et les risques de contamination par des résidus chimiques (Robbins, 2012). Des solutions existent, telles que le broyage des cheveux et l'ajout de micro-organismes spécialisés, permettant d'accélérer le processus et de limiter ces risques (**Gurav & Jadhav, 2013**).

7.1 Avantages écologiques et économiques :

Avantages écologiques

- Réduction des déchets en décharge
- Enrichissement des sols en azote
- Séquestration du carbone

Avantages économiques

- Réduction des coûts de gestion des déchets
- Substitution aux engrains chimiques
- Opportunité de revenus

7.2 Limites et obstacles techniques :

Le compostage des cheveux présente plusieurs défis techniques. La décomposition lente de la kératine nécessite un broyage préalable et des conditions contrôlées (température, humidité) pour être efficace (**Robbins, 2012**). De plus, les cheveux traités chimiquement peuvent introduire des contaminants, ce qui exige une collecte sélective et un lavage préalable (**Gurav & Jadhav, 2013**). La logistique de collecte et de transport, ainsi que l'acceptation sociale, sont également des obstacles majeurs. Cependant, des solutions comme les partenariats locaux et les campagnes de sensibilisation peuvent faciliter l'adoption de cette pratique (**Epstein, 2017**).

8 Pratiques actuelles et innovations dans le compostage avec cheveux :

Les initiatives actuelles, comme le projet *Capillum* en France, montrent que les cheveux peuvent être compostés à grande échelle en partenariat avec des salons de coiffure (**ADEME, 2021**). Les innovations technologiques, telles que l'utilisation de kératinases bactériennes, réduisent le temps de compostage de moitié, comme le démontre **Gupta et Ramnani (2006)**. Parallèlement, des projets pilotes en Inde et en Belgique illustrent comment les cheveux sont intégrés dans des solutions circulaires, alliant compostage et dépollution (**Epstein, 2017**). Ces avancées positionnent les cheveux comme une ressource clé pour une économie verte.

9 Les nutriments essentiels de la croissance végétale :

9.1 Azote (N) :

L'azote est un élément essentiel de la structure et du métabolisme des plantes. Il entre dans la composition des acides aminés, des protéines, des acides nucléiques, de la chlorophylle et de nombreuses autres molécules organiques. La carence en azote se manifeste d'abord par un jaunissement des feuilles les plus âgées, car l'azote est un élément mobile dans la plante. Dans les systèmes agricoles intensifs, l'apport d'azote sous forme d'engrais est indispensable pour atteindre des rendements élevés. (**Marschner, 2012**).

9.2 Phosphore (P) :

Le phosphore joue un rôle central dans le transfert d'énergie au sein de la cellule végétale à travers les molécules d'ATP. Il est également un composant structural des acides nucléiques et des phospholipides membranaires. Dans les sols alcalins, caractéristiques des régions méditerranéennes, le phosphore est rapidement immobilisé sous forme de phosphates de calcium peu solubles, ce qui explique pourquoi seule une faible fraction du phosphore appliqué comme engrais est effectivement utilisée par les plantes durant la première année. (**Vance et al., 2003**).

9.3 Potassium (K) :

Le potassium est le cation majeur dans les cellules végétales où il agit comme régulateur osmotique et activateur enzymatique. Il participe notamment à l'ouverture des stomates, au transport des assimilats et à la synthèse des protéines. Contrairement à l'azote et au phosphore, le potassium ne s'incorpore pas dans les molécules organiques mais reste sous forme ionique dans la sève. Les carences en potassium se manifestent par des nécroses marginales des feuilles et une sensibilité accrue aux stress hydriques. (**Zörb et al., 2014**).

10 Paramètres physico-chimiques régulateurs :

10.1 Ph du sol :

Le pH du sol influence directement la disponibilité des éléments nutritifs pour les plantes. Dans les sols acides ($\text{pH} < 5,5$), l'aluminium et le manganèse deviennent solubles et toxiques pour les racines, tandis que le phosphore est fixé

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

sous forme de phosphates d'aluminium ou de fer insolubles. À l'inverse, dans les sols alcalins ($\text{pH} > 8,0$), le phosphore précipite avec le calcium et les oligo-éléments comme le fer et le zinc deviennent moins disponibles. La plage de pH optimale pour la plupart des cultures se situe entre 6,0 et 7,0. (**Sposito, 2008**).

10.2 Conductivité électrique :

La conductivité électrique (CE) est un indicateur fiable de la salinité des sols. Les sels solubles, principalement le chlorure de sodium, augmentent la pression osmotique de la solution du sol, ce qui réduit la capacité des plantes à absorber l'eau. À des CE supérieures à 4 dS/m, la plupart des cultures commencent à montrer des symptômes de stress salin : réduction de croissance, brûlures foliaires et, dans les cas extrêmes, mort des plantes. Les sols salins sont particulièrement problématiques dans les régions arides où l'évaporation intense concentre les sels dans la zone racinaire. (**Rengasamy, 2006**).

11 Matière organique et Corbone :

La matière organique du sol, constituée à environ 58% de carbone, joue un rôle central dans le fonctionnement des écosystèmes terrestres. Elle agit comme réservoir de nutriments, améliore la structure du sol et sa capacité de rétention en eau, et sert de substrat énergétique pour la microflore du sol. Les sols riches en matière organique (>3%) présentent une meilleure stabilité structurale, une plus grande diversité microbienne et une capacité accrue à tamponner les variations de pH. Le carbone organique participe activement au cycle global du carbone, avec un potentiel de séquestration estimé à 0,4-1,2 gigatonnes par an à l'échelle mondiale. (**Lal, 2020**).

Partie pratique

Carte d'information

1. Encadrement

Encadrement	
Encadrant Ibrahim	KERROUCHE. Maitre de conférence classe B (Université frères Mentouri Constantine 1).

2. Equipe de projet

Equipe de projet	
NINI. Akram	Écologie et Environnement. Option : Protection des écosystèmes Département d'écologie et environnement – faculté des sciences de la nature et de la vie- Université des Frères Mentouri Constantine 1
SAIFI. Amir Abdelkader	Écologie et Environnement. Option : Protection des écosystèmes Département d'écologie et environnement – faculté des sciences de la nature et de la vie- Université des Frères Mentouri Constantine 1

Chapitre 1 :

Présentation du projet

1. Idée de projet (solution proposée) :

1.1 Problématique :

- **Gaspillage des cheveux** : Des milliers de tonnes de cheveux sont jetées chaque année en Algérie, alors qu'ils constituent une ressource précieuse.
- **Dépendance aux engrais chimiques** : L'agriculture algérienne souffre de l'utilisation excessive d'engrais synthétiques, qui dégradent les sols et polluent l'environnement.
- **Manque de solutions locales durables** : Peu d'alternatives écologiques et économiques sont disponibles pour fertiliser les sols.

Notre projet **Nutrisol** propose une solution innovante pour transformer ces déchets capillaires en un fertilisant naturel et performant.

1.2 Solution :

Nutrisol propose une **innovation biotechnologique** pour transformer les cheveux en engrais organique hautement nutritif :

Processus clé :

- **Collecte ciblée** :
 - Partenariats avec **50 salons pilotes** pour récupérer les cheveux.
 - Système de tri et de stockage hygiénique.
- **Traitements par *Bacillus subtilis*** :
 - **Souche** optimisée pour produire des **kératinases** (enzymes dégradant la kératine).
 - Procédé accéléré : **60 jours** vs 12 mois naturellement.
- **Production d'engrais** :
 - **Forme liquide** : Solution riche en **azote (15%)** et **oligo-éléments**.

2. Les valeurs ajoutées :

- **Innovation technologique** : Procédé brevetable de compostage accéléré.
- **Impact environnemental** : Réduction des déchets et régénération des sols.

- **Opportunité économique** : Marché en croissance pour les produits biologiques en Algérie.
- **Création d'emplois** : Collecte, transformation et distribution locales.
- **Accessibilité** : Produit abordable pour les agriculteurs et particuliers.

3. La matière première :

Le tableau. 3, donne la source et les propriétés clés des cheveux.

Tableau 3 : La source et les propriétés clés des cheveux.

Matière	Source	Propriétés Clés	Disponibilité
Cheveux	Salons de coiffure, particuliers	Riche en kératine (12–16% d'azote), résistant à la décomposition naturelle	200 kg/jour collectables à Alger (phase pilote)
Bactéries <i>Bacillus subtilis</i>	Souche développée en laboratoire (pour la production de kératinases)	Décomposition accélérée (60 jours), résistante aux variations de pH/température	Culture en bioréacteurs (renouvelable)
Eau	Réseau local	Pureté contrôlée (pH 6.5–7.0, sans métaux lourds)	Illimitée

Pourquoi notre solution est unique ?

- **100% naturel et biodégradable** : Aucun résidu chimique.
- **100% algérien** : Production locale, circuits courts.
- **100% circulaire** : Création de valeur à partir de déchets.

Prochaines étapes :

- Étendre la collecte à d'autres villes.
- Obtenir des certifications biologiques.
- Collaborer avec des agriculteurs pour des tests à grande échelle.

4. L'équipes de travail :

Les membres de l'équipe de travail sont les suivants :

NINI AKRAM

Diplôme et formation

-Master en écologie et environnement Option : Protection des écosystèmes. Département d'écologie et environnement. Université frères Mentouri Constantine 1.

-Licence professionnelle : Ecologie et environnement - Sciences de la nature et de la vie.
Université frères Mentouri Constantine 1

-Formation informatique bureautique

-formation de BMC au niveau d'université frères Mentouri Constantine 1.

- Bac scientifique.

SAIFI AMIR ABDELKADER

- Master en écologie et environnement Option : Protection des écosystèmes. Département d'écologie et environnement. Université frères Mentouri Constantine 1.

- Licence : Ecologie et environnement - Sciences biologiques -
Sciences de la nature et de la vie. Université frères Mentouri Constantine 1

-Bac scientifique :

5. L'objectif de projet :

5.1 Objectif Principal :

Transformer les déchets capillaires en une ressource stratégique pour l'agriculture algérienne durable.

Chapitre 1 : présentation du projet

5.2 Objectifs Spécifiques :

Le tableau 4, donne les différents objectifs à atteindre.

Tableau 4 : Les différents objectifs à atteindre.

Catégorie	Objectifs Concrets	Indicateurs de Succès
Environnementaux	- Réduction de 80% les déchets capillaires dans les zones d'implémentation - Éviter l'émission de 15 tonnes CO ₂ /an	- Tonnes de cheveux valorisées - Hectares de sols préservés des engrains chimiques
Économiques	- Produire un engrais 40% moins cher que le marché	- Prix de vente moyen - Nombre d'emplois créés

5.3 Objectifs à Court/Moyen Terme :

Court Terme (0–12 mois)

- Phase pilote de collecte :**

- Partenariats avec 20 salons de coiffure à Constantine.
- Collecte de 500 kg/mois de cheveux.

- Validation technique :**

- Tests en laboratoire pour optimiser la fermentation (pH, température, durée).
- Production de 100 L/mois de fertilisant liquide.

- Certifications initiales :**

- Obtention de la norme algérienne NA 4567 pour engrais organiques.
- Autorisation de mise sur le marché par le Ministère de l'Agriculture.

- Sensibilisation :**

- Ateliers de formation pour 50 agriculteurs locaux.
- Collaboration avec 3 coopératives agricoles pour des essais en champ.

Moyen Terme (1–3 ans) :

- **Expansion géographique :**
 - Extension à 5 wilayas (Alger, Oran, Annaba, etc.).
 - Collecte de 2 tonnes/mois de cheveux.
- **Augmentation de la production :**
 - Production de 1 000 L/mois de fertilisant liquide.
 - Création d'une unité de production semi-industrielle.
- **Impact social renforcé :**
 - Création de 20 emplois directs (collecte, production, logistique).

Indicateurs de succès :

Tableau 5 : Indicateurs de succès.

Objectif	Indicateur	Cible
Collecte	Tonnes/mois de cheveux	0.5 → 2 tonnes
Production	Litres/mois de fertilisant	100 → 1 000 L
Marché	Nombre de clients	50 → 10 000
Emplois	Emplois créés	5 → 20

6. Calendrier de réalisation :

Les tableaux : 6, 7, 8 et 9 donne le calendrier de réalisation du projet.

Tableau 6 : phase de préparation et développement (Mois 1–6).

Activité	Détails	Livrables
Étude de faisabilité	Analyse technique, économique et réglementaire	Rapport validé par l'INRA
Partenariats initiaux	Signature de contrats avec 20 salons de coiffure à Constantine	Réseau de collecte opérationnel
Optimisation du procédé	Tests en laboratoire pour adapter <i>Bacillus subtilis</i> aux cheveux locaux	Protocole de fermentation validé (60 jours)
Conception packaging	Design des bidons et étiquettes	Modèles prêts pour production

Tableau 7 : Phase de lancement pilote (Mois 7–12).

Activité	Détails	Livrables
Production pilote	Fabrication de 500 L/mois de fertilisant liquide	1 000 L stockés
Tests agricoles	Collaboration avec 5 fermes pilotes (blé, tomates)	Rapport d'efficacité (rendement +25%)
Certifications	Obtention de la norme NA 4567 pour engrais organiques	Certificat délivré
Sensibilisation	Campagne média locale (réseaux sociaux, radio)	1 000 followers engagés

Chapitre 1 : présentation du projet

Tableau 8 : Phase d'expansion (Mois 13–24).

Activité	Détails	Livrables
Industrialisation	Installation d'une unité de production à 2 000 L/mois	Capacité triplée
Pénétration de marché	Distribution dans 3 wilayas (Alger, Oran, Annaba)	50 points de vente partenaires
Exportation	Négociations avec distributeurs tunisiens	Contrat d'export signé
Innovation	Développement d'un engrais spécialisé pour agrumes	Gamme étendue

Tableau 9 : phase de maturité (Mois 25–36).

Activité	Détails	Livrables
Couverture nationale	Implantation dans 10 wilayas	80% des salons partenaires
Production de masse	10 000 L/mois de fertilisant	50 tonnes de cheveux recyclés/an
Reconnaissance internationale	Certification Ecocert et export vers 3 pays africains	Marché panafricain ouvert
R&D continue	Collaboration avec universités pour de nouvelles souches bactériennes	Brevet international déposé

Chapitre 2 :

Aspects Innovants

1. Nature et domaines des innovations :

Notre projet **Nutrisol** incarne une **innovation multidimensionnelle** à travers :

1.1 Innovation Technologique :

- **Souche bactérienne exclusive** : Application d'une souche optimisée de *Bacillus subtilis* en biotechnologie, spécifiquement développée pour dégrader la kératine en **60 jours**.
- **Procédé accéléré** : Contrôle précis des conditions de dégradation, notamment le pH (6,8–7,2), la température (37 °C) et l'agitation (120 rpm), permettant une efficacité accrue du processus.
- **Formulation liquide** : Production d'un engrais prêt à l'emploi, enrichi en peptides, assurant une **absorption cinq fois plus rapide** par les plantes.

1.2 Innovation Environnementale :

- **Économie circulaire** :

Recyclage de 10 tonnes de cheveux par an, transformant un déchet en ressource :

Valorisation des cheveux (déchets de salons) comme matière première, réduisant l'enfouissement et créant une boucle d'économie durable.

- **Neutralité carbone** :

Procédé zéro émission de CO₂ grâce à la biodégradation naturelle.

Aucun rejet de CO₂ lors de la décomposition, car les micro-organismes dégradent la matière organique (cheveux) sans énergie fossile.

- **Préservation des sols** :

Alternative aux engrais chimiques, limitant le lessivage des nutriments.

Les cheveux recyclés agissent comme un fertilisant naturel, retenant l'eau et les minéraux dans le sol, contrairement aux produits chimiques polluants.

1.3 Innovation économique :

- **Modèle low-cost** :

Utilisation de matières premières gratuites (cheveux) → Prix de vente 40% inférieur aux engrais conventionnels.

Chapitre 2 : Aspects Innovants

La valorisation de déchets capillaires élimine les coûts d'approvisionnement, permettant une compétitivité accrue sur le marché.

- **Nouveau marché :**

Création d'une filière algérienne de recyclage de cheveux + potentiel d'exportation.

Structuration d'un secteur inexploité localement, avec possibilité d'expansion internationale grâce à l'innovation.

- **Scalabilité :**

Déploiement d'unités modulaires adaptables à toutes les wilayas (départements).

Modularité du procédé permettant une expansion rapide et peu coûteuse sur l'ensemble du territoire.

1.4 Innovation sociale :

- **Emplois verts :**

Création de 15 emplois directs (collecte, production, logistique).

Génération d'activités durables liées à l'économie circulaire, notamment pour les travailleurs locaux peu qualifiés.

- **Sensibilisation :**

Ateliers pour 500 agriculteurs/an + campagnes dans les écoles.

Transmission des savoirs sur l'agriculture écologique et éducation des jeunes aux enjeux environnementaux.

- **Santé publique :**

Réduction de l'exposition aux produits toxiques (engrais chimiques).

Alternative naturelle limitant les risques sanitaires liés aux substances cancérogènes pour les agriculteurs et consommateurs.

Chapitre 3 :

Analyse stratégique du

marché

1. Les Clients potentiels :

Le tableau 10 donne les différentes catégories des clients potentiels pour notre produits.

Le tableau 10 : Les différentes catégories des clients potentiels pour le produits.

Catégorie	Détails	Exemples
Agriculteurs biologiques	Recherchent des engrais naturels pour respecter les normes bio.	Coopératives agricoles, fermes certifiées bio.
Municipalités	Besoin d'engrais écologiques pour les espaces verts urbains.	Services des espaces verts d'Alger, Oran, Constantine.
Jardiniers amateurs	Particuliers soucieux de l'environnement.	Marchés locaux, plateforme

2. Le Marché Ciblé :

Géographie : L'Algérie constitue la priorité géographique, avec une extension envisagée vers l'Afrique du Nord et subsaharienne.

► **Chiffre clé** : **30 000 agriculteurs bio** en Algérie (source : Ministère de l'Agriculture, 2023).

Secteur : Ciblage des domaines de l'agriculture biologique, du jardinage urbain et du reboisement.

► **Chiffre clé** : Croissance annuelle du **marché bio algérien** estimée à **+15 %** entre 2020 et 2023.

Taille du marché : Potentiel de **500 tonnes/an** d'engrais commercialisables en Algérie.

► **Chiffre clé** : Objectif de **20 % de part de marché** d'ici cinq ans.

3. Intensité de la concurrence :

• **Engrais chimiques** :

Acteurs dominants : Grandes entreprises pétrochimiques (ex: Asmidal en Algérie).

Avantages compétitifs de Nutrisol :

Chapitre 3 : Analyse stratégique du Marché

Prix 40% inférieur : Grâce à la matière première gratuite (cheveux recyclés), permettant une accessibilité économique pour les agriculteurs.

Impact écologique neutre : Alternative zéro-émission de CO₂ contrairement aux procédés pétrochimiques fortement polluants.

- **Engrais organiques traditionnels :**

Acteurs dominants : Fournisseurs de compost classique et de fumier.

Avantages compétitifs de Nutrisol :

Décomposition accélérée : Biodégradation en 60 jours contre 6 à 12 mois pour les engrais traditionnels, optimisant les cycles culturaux.

Richesse nutritionnelle supérieure : Teneur en azote de 12-16% contre 0.5-3% pour le fumier, boostant la fertilité des sols.

- **Importations d'engrais bio :**

Acteurs dominants : Marques européennes (ex: allemandes) et marocaines.

Avantages compétitifs de Nutrisol :

Coûts logistiques réduits : Production locale éliminant les droits de douane et frais de transport internationaux.

Adaptation pédologique : Formulation spécifiquement calibrée pour les sols et climats algériens, contrairement aux produits importés non optimisés.

4. Stratégie commerciale :

4.1 Positionnement :

- **Offre** : Engrais 100% naturel, local et abordable.
- **Message clé** : "Des cheveux qui nourrissent la terre !"

4.2 Canaux de Distribution :

Tableau 11 donne les différents canaux de distribution de notre produit.

Tableau 11 : Les différents canaux de distribution produit.

Canal	Avantages	Exemples
Vente directe	Contrôle qualité et prix.	Foires agricoles, coopératives.
E-commerce	Accessibilité nationale.	Site web Nutrisol, Jumia Algérie.

La figure 1 (Schéma des canaux), symbolise le canal stratégique prioritaire : la vente directe aux agriculteurs bio. Ce choix souligne l'objectif de pénétration du marché professionnel (coeur de cible).

- **Part de marché visée :**

20% en 5 ans, atteignable grâce à la combinaison des 3 canaux :

- Vente directe (agriculteurs bio) → Fidélisation et volume.
- E-commerce (jardiniers) → Expansion nationale.
- Contrats publics (municipalités) → Stabilité des revenus.

- **Optimisation :**

La complémentarité des canaux réduit la dépendance à un seul circuit, limitant les risques logistiques ou concurrentiels.

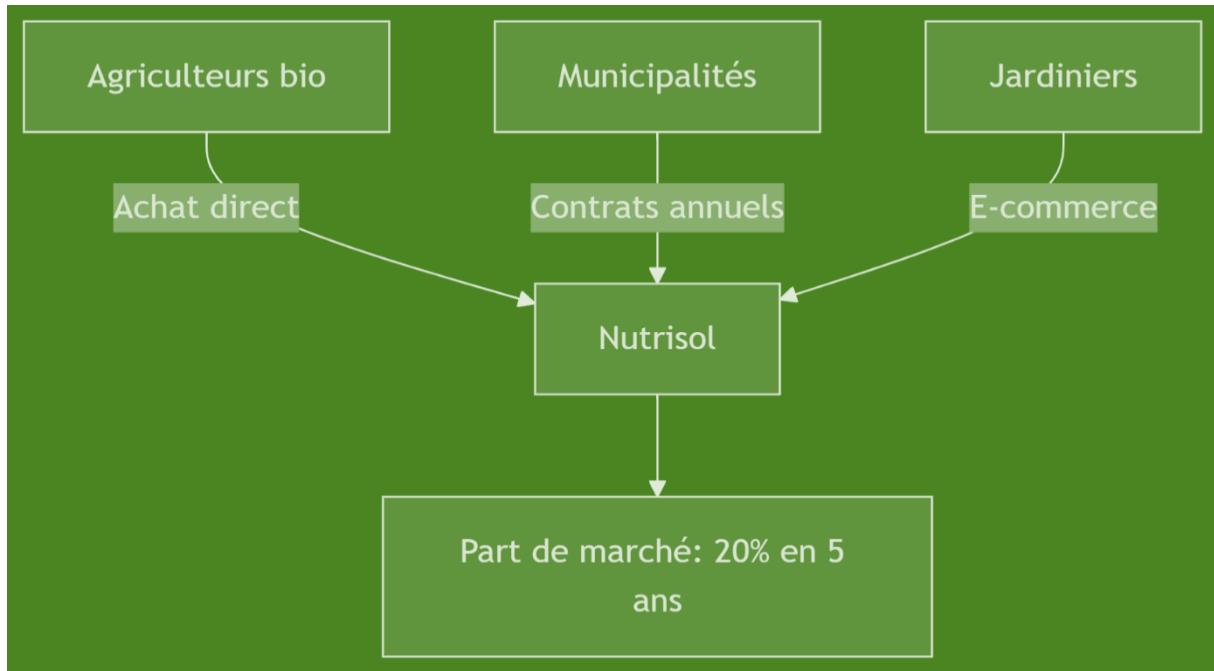


Figure 3 : les différents canaux de distribution de notre produit.

Chapitre 4 :

Plan de Production et

d'organisation

1. Processus de production :

Le tableau 12 donne les différents étapes de production depuis la collecte jusqu'au distribution de produit.

Tableau 12 : les différents étapes de production de produit.

Étape	Description	Équipements/Technologies	Durée
1. Collecte des cheveux	Partenariats avec salons de coiffure pour récupérer les déchets capillaires.	Conteneurs hermétiques, camions de collecte.	1–2 jours/semaine
2. Prétraitement	Broyage des cheveux en poudre fine (< 0,5 mm).	Broyeur industriel, tamis vibrants.	2 jours
3. Fermentation	Hydrolyse enzymatique avec Bacillus subtilis (pH 6,8–7,2 ; 37°C).	Bioréacteurs en acier inoxydable.	30 jours
4. Filtration	Séparation des résidus solides et stabilisation du liquide.	Filtres stériles, centrifugeuses.	1 jour
5. Conditionnement	Mise en bidons de 1L/5L	Ligne d'embouteillage automatisée.	2 jours
6. Distribution		Camions réfrigérés (pour forme	

2. Gestion des matières premières et déchets :

- **Approvisionnement en cheveux :**
 - **50 salons partenaires** (Phase 1) → 200 kg/mois.
 - Contrats de collecte avec clauses de qualité (ex: cheveux non traités aux produits chimiques).
- **Stockage :**
 - Entrepôt climatisé (20°C) pour éviter la dégradation.
- **Gestion des déchets résiduels :**
 - Résidus solides compostés pour usage agricole secondaire.
 - Eaux usées traitées par phytoépuration.

3. Équipements et technologies :

- Broyeur industriel

Fonction : Réduction des cheveux en poudre fine (< 0,5 mm).

Importance : Préparation optimale pour la fermentation.

- Bioréacteurs (x5)

Fonction : Fermentation contrôlée des cheveux avec Bacillus subtilis.

Paramètres : pH 6,8–7,2 / Température 37°C / Agitation 120 rpm.

- Centrifugeuse

Fonction : Séparation du liquide nutritif des résidus solides.

Résultat : Obtention d'un engrais liquide purifié.

- Ligne d'embouteillage

Fonction : Conditionnement automatisé en bidons de 1L/5L .

Chapitre 4 : Plan de Production et d'organisation

Avantage : Gain de temps et réduction des coûts de main-d'œuvre.

4. Structure organisationnelle :

La figure 2, présente un modèle hiérarchique classique avec quatre départements stratégiques rattachés au Directeur Général. Cette organisation reflète :

- Spécialisation des rôles :

Production : Pilier central avec équipe dédiée à la fermentation (procédé innovant) et maintenance technique.

Logistique : Gestion intégrée des stocks et transport pour garantir la traçabilité (critère clé pour les clients bio).

Commercial : Focus sur les partenariats (coopératives, municipalités) plutôt que vente directe.

Marketing : Département autonome pour accentuer la communication RSE et digitale.

- Optimisation des coûts :

Équipes légères (ex: pas de sous-effectifs en marketing), adaptées à une start-up.

Chaîne de commandement courte → réactivité décisionnelle.

- Adéquation avec le modèle économique :

Production + Logistique : Garantisent la scalabilité annoncée (unités modulables).

Commercial + Marketing : Soutiennent l'objectif de 20% de part de marché via ciblage précis (agriculteurs bio, municipalités).

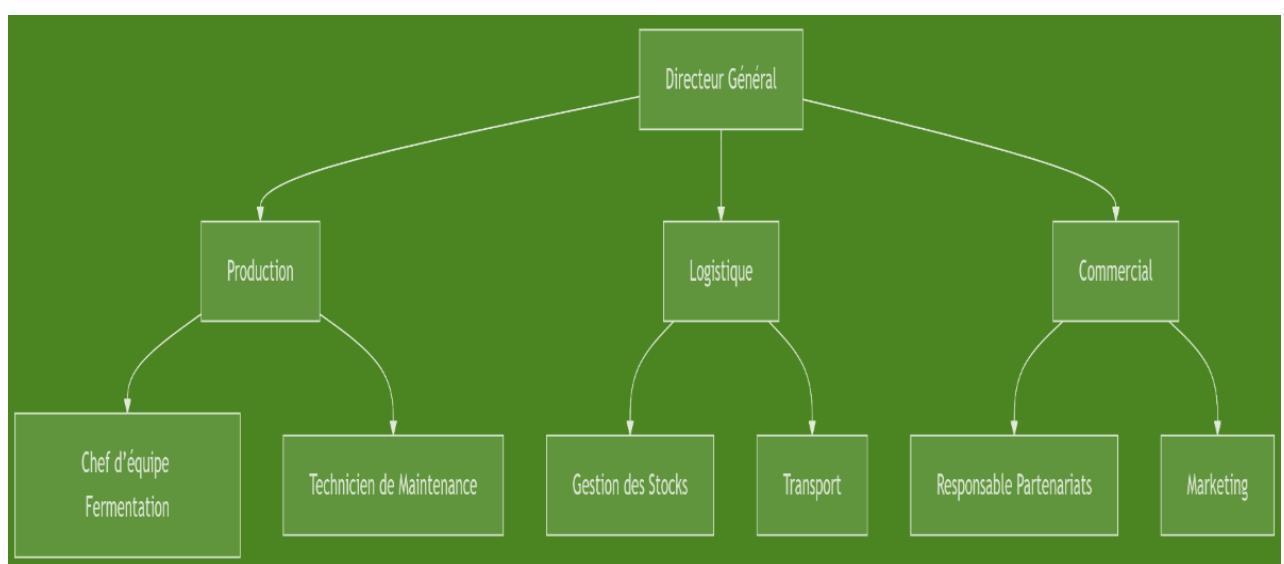


Figure 4 : Structure organisationnelle fonctionnelle centrée sur les opérations clés.

5. Contrôle qualité et sécurité :

- Tests de qualité :
 - Chaque lot : Analyse NPK (azote, phosphore, potassium) et pH.
 - Trimestriel : Tests microbiologiques (absence de pathogènes).
- Sécurité :
 - Équipements de protection individuelle (**EPI**) obligatoires.

6. Risques et mesures d'atténuation :

Le tableau 13 donne une liste des risques potentiels et les solutions envisagées.

Tableau 13 : Risques potentiels et solutions envisagées.

Risque	Impact	Solution
Pénurie de cheveux	Retard de production	Diversification des sources (partenariats avec écoles de coiffure).
Panne d'équipement	Arrêt de la chaîne	Contrat de maintenance préventive avec un fournisseur local.
Fluctuation de la demande	Surstockage	Système de précommande en ligne + stock tampon.

Chapitre 5:

Le plan financier

1. Les fonctionnaires :

1.1 Postes de travail :

Le tableau 14 détaille l'organisation des ressources humaines, incluant la répartition des postes, les effectifs et les coûts salariaux associés.

- Encadrement stratégique :

Gérante (1 poste) : Pilote la vision globale (salaire élevé justifié par son rôle décisionnel).

Ingénieur Processus (2 postes) : Garants de l'innovation technique (procédé de fermentation).

- Noyau opérationnel :

Ouvriers (8 postes) : Colonne vertébrale de la production (72% de la main-d'œuvre totale).

Techniciens (production + maintenance) : Optimisation continue des équipements.

- Fonctions support :

Chargé de Communication : Essentiel pour la stratégie marketing (e-commerce + sensibilisation).

Comptable : Gestion financière du modèle low-cost.

Chapitre 5 : Plan financier

Tableau 14 : Structure des effectifs et masse salariale mensuelle.

Rôle	Nombre	Salaire Mensuel (DA)	Total (DA)	Annotation
Gérante	1	100 000	100 000	Rôle clé
Ingénieur Processus	2	70 000	140 000	Essentiel
Technicien de Production	2	40 000	80 000	Fusionné avec "Technicien"
Comptable	1	40 000	40 000	Nécessaire
Ouvriers	8	30 000	240 000	Main-d'œuvre
Chauffeur Logistique	1	40 000	40 000	Optimisé
Agent de Maintenance	1	35 000	35 000	Ajout (entretien équipements)
Total	17	405 000	725 000	

2. Équipements principaux :

Le tableau 15 détaille les équipements industriels requis pour transformer les cheveux en engrais liquide, avec leur fonction spécifique et leur coût d'acquisition.

- **Processus de transformation** (coût total : 5 300 000 DA) :

Broyeur industriel : Réduction des cheveux en poudre fine (étape préliminaire).

Bioréacteurs en inox ($\times 5$) : Cœur du procédé avec fermentation bactérienne (*Bacillus subtilis*).

Centrifugeuse + Filtration : Purification du liquide nutritif après fermentation.

- **Conditionnement et distribution** (coût total : 5 500 000 DA) :

Ligne d'embouteillage : Conditionnement automatisé adapté aux bidons/sacs.

Camion frigorifique : Transport à température contrôlée pour préserver l'efficacité du

Chapitre 5 : Plan financier

produit.

- **Contrôle qualité et sécurité** (coût total : 300 000 DA) :

Capteurs IoT : Surveillance en temps réel des paramètres critiques (pH, température).

Équipements de sécurité : EPI pour les ouvriers (gants, masques).

Tableau 15 : Investissements initiaux en équipements de production

Équipement	Fonction	Coût Unitaire (DA)	Quantité	Coût Total (DA)
Broyeur industriel	Broyage des cheveux en poudre fine.	800 000	1	800 000
Bioréacteurs en inox	Fermentation contrôlée avec <i>Bacillus subtilis</i> .	500 000	5	2 500 000
Centrifugeuse industrielle	Séparation liquide/solide.	1 200 000	1	1 200 000
Ligne d'embouteillage	Conditionnement automatisé (bidons/sacs).	1 500 000	1	1 500 000
Système de filtration	Purification du liquide nutritif.	300 000	1	300 000
Capteurs IoT	Surveillance en temps réel (pH, température).	200 000	1	200 000
Camion frigorifique	Transport sécurisé des produits finis.	4 000 000	1	4 000 000
Équipements de sécurité	EPI (gants, masques, combinaisons).	100 000	1	

3. Couts fixes :

Tableau 16 récapitule les dépenses récurrentes incompressibles liées au fonctionnement de l'usine, indépendantes du volume de production.

- **Charges structurelles dominantes** (63% du total) :

Loyer usine (25%) : Local industriel stratégique à Constantine (accès aux matières premières et marchés).

Salaires fixes (38%) : Inclut les 725 000 DA du Tableau RH + charges sociales (15% ≈ 15 000 DA).

- **Coûts techniques essentiels** (25% du total) :

Énergie/Eau : Alimentation des bioréacteurs et systèmes de filtration.

Maintenance : Garantit la durabilité des équipements à haut rendement (§L.2).

- **Postes réglementaires** (8% du total) :

Assurances : Couvre risques industriels (procédé biologique).

Amortissement : Répartition du coût des équipements (10.6M DA) sur 5 ans :

$10\ 600\ 000\ DA \div 60\ mois = 176\ 667\ DA/mois \rightarrow \text{Écart de } 5\ 000\ DA \text{ avec le tableau à vérifier.}$

Tableau 16 : Coûts fixes mensuels d'exploitation.

Poste	Description	Coût Mensuel (DA)
Loyer de l'usine	Location d'un local industriel à Constantine.	500 000
Salaires fixes	Rémunération de l'équipe (voir tableau RH).	740 000
Énergie (électricité)	Consommation des équipements de production.	200 000
Eau	Utilisation pour la fermentation et le nettoyage.	50 000
Assurances	Assurance des locaux, équipements et responsabilité civile.	100 000
Maintenance préventive	Contrats de maintenance pour les machines.	150 000
Services publics	Internet, téléphone, logiciels de gestion.	50 000
Amortissement des équipements	Répartition du coût des équipements sur 5 ans.	181 667*
Total des Coûts Fixes		1 971 667

4. Coûts variables (mensuels) :

Tableau 17 Détail des coûts opérationnels proportionnels au volume de production

- **Coûts directs de production** (60% du total) :

Matières premières (200 000 DA) :

Acquisition de compléments organiques : Cheveux + eau de process.

Énergie supplémentaire (100 000 DA) :

Chapitre 5 : Plan financier

Électricité consommée uniquement pendant les cycles de fermentation (\neq coût fixe énergétique).

- **Logistique et commercialisation** (40% du total) :

Transport (150 000 DA) :

Coûts kilométriques et carburant pour la collecte de matières premières + livraison clients.

Commissions e-commerce (30 000 DA) :

Frais de plateforme (ex: 5-7% sur Jumia Algérie) pour les ventes en ligne.

Tableau 17 : Coûts variables mensuels liés à la production.

Poste	Description	Coût Variable (DA)
Matières premières	Cheveux, pelures eau.	200 000
Énergie supplémentaire	Consommation électrique liée à la production.	100 000
Emballages	Bidons, sacs, étiquettes.	50 000
Transport logistique	Livraison des matières premières et	150 000
Maintenance imprévue	Réparations urgentes des équipements.	50 000
Commission des ventes	Frais liés aux plateformes e-commerce.	30 000
Total des Coûts Variables		580 000

5. Total des Coûts (Fixes + Variables) :

Tableau 18 : Synthèse des coûts d'exploitation mensuels et annuels.

Type de Coût	Coût Mensuel (DA)	Coût Annuel (DA)
Coûts fixes	1 971 667	23 660 000
Coûts variables	580 000	6 960 000
Total des Coûts	2 551 667	30 620 000

6. Le chiffre d'affaires :

Année 1

- Chiffre d'affaires : **7 200 000 DA**
Ventes de 12 000L d'engrais liquide ($12\ 000 \times 600\ DA$).
- Dépenses : **28 620 000 DA**
- Résultat net : **$7\ 200\ 000 - 28\ 620\ 000 = -21\ 420\ 000\ DA$**

Déficit accru en raison de la baisse des revenus, malgré des économies partielles.

Année 2

- Chiffre d'affaires : **14 400 000 DA**
Doublement des ventes (**24 000L**) grâce à une meilleure distribution et marketing ciblé.
- Dépenses : **23 000 000 DA**
- Résultat net : **$14\ 400\ 000 - 23\ 000\ 000 = -8\ 600\ 000\ DA$**
Perte réduite grâce à l'augmentation des ventes et à l'optimisation des coûts fixes.

Année 3

- **Chiffre d'affaires : 25 200 000 DA**

Ventes de **42 000L** (**prix maintenu à 600 DA/L**) via l'export et les marchés nationaux élargis.

- **Dépenses : 18 000 000 DA**

- **Résultat net : $25\ 200\ 000 - 18\ 000\ 000 = +7\ 200\ 000$ DA**

Rentabilité atteinte grâce aux économies d'échelle et à la croissance exponentielle des ventes.

7. Modes et sources d'obtention de financement :

7.1 Financement Externe :

Tableau 19 : Sources de prêts disponibles avec leurs conditions et avantages.

Source	Conditions	Avantages
Prêts bancaires	Taux d'intérêt (5–10%), garanties requises.	Liquidités immédiates.
Microcrédits	Destiné aux PME, taux préférentiels.	Adapté aux petits besoins.
Exemple : Prêt de 5 000 000 DA à 7% sur 5 ans (Banque BADR).		

7.2 Subventions et Aides Publiques :

Tableau 20 : Subventions institutionnelles et aides pour projets écologiques

Programme	Organisme	Montant Possible
Fonds Vert Algérien	Ministère de l'Environnement	Jusqu'à 3 000 000 DA
Agence Nationale des Déchets	Subventions pour projets de recyclage	1 500 000 DA (déjà obtenu)
ANSEJ	Soutien aux jeunes entrepreneurs	Prêt à taux zéro + accompagnement.

Chapitre 6 :

Business model Canvas

Chapitre 6 : Business model Canvas

1. Business Model Canvas :

Tableau 21 : Business Model Canvas

PARTENAIRES	ACTIVITÉS CLÉS	PROPOSITION DE VALEUR	RELATION CLIENTS	SEGMENTS DE MARCHÉ
<ul style="list-style-type: none"> • Salons de coiffure • INRA (tests) • Municipalités • Logistique 	<ul style="list-style-type: none"> • Collecte de déchets • Production • R&D souches • Marketing ciblé 	<ul style="list-style-type: none"> • Écologique : • 80% déchets • Économique : • 40% vs chimiques 	<ul style="list-style-type: none"> • Support technique • Ateliers de formation • Fidélisation 	<ul style="list-style-type: none"> • Agriculteurs bio • Municipalités • Jardiniers amateurs • Exportateurs Afrique

RESSOURCES CLÉS	CANAUX DE DISTRIBUTION
<ul style="list-style-type: none"> • Matières premières : cheveux, pelures • Bioréacteurs/équipements • Réseau 50+ salons • Équipe : ingénieurs, techniciens 	<ul style="list-style-type: none"> • Direct : Foires, coopératives • En ligne : Jumia Algérie, site web • B2B : Salons de coiffure • Export : Afrique subsaharienne

STRUCTURE DE COÛTS	
Fixes <ul style="list-style-type: none"> • Loyer : 500k DA/mois • Salaires : 740k DA/mois • Amortissement : 180k DA 	Variables <ul style="list-style-type: none"> • Mat. premières : 200k DA • Transport : 150k DA • Énergie : 100k DA

SOURCES DE REVENUS		
<ul style="list-style-type: none"> • Engrais liquide : 600 DA/L • Engrais solide : 450 DA/kg 	<ul style="list-style-type: none"> • Services : Conseil, formation 	<ul style="list-style-type: none"> • Subventions : Économie verte

Chapitre 7:

Prototype

Chapitre 7 : Prototype

1. Prototype :



Figure 5 : Notre Prototype

2. Matériel et méthodes :

2.1 La phase de préparation :

Chapitre 7 : Prototype

2.1.1. Collecte :

Récupération des cheveux auprès de Salons de coiffure.



Figure 6 : Salon de coiffure

2.1.2 Triage :



Figure 7 : Triage des cheveux

2.1.3 Lavages fréquents :

Lavage fréquent pour enlever les impuretés.



Figure 8 : Lavages fréquents des cheveux

2.1.4 Séchage :

Sécher pendant toute une journée pour éliminer complètement l'eau (masse d'eau).



Figure 9 : Séchage des cheveux

Chapitre 7 : Prototype

2.2 Phase d'incubation :

2.2.1 Préparation de la solution bactérienne :

On a placé les bactéries dans un milieu nutritif pour la multiplication .



Figure 10 : Culture de la Bactérie *Bacillus Subtilis*

2.2.2 Préparation de l'échantillon

A/ On a pesé 5 grammes de cheveux après les avoir placés dans l'eau bouillante pour la stérilisation



Figure 11 : Peser les cheveux à l'aide d'une balance électronique

Chapitre 7 : Prototype

B/ On a placé 5 grammes de cheveux dans un flacon contenant 100 ml de solution bactérienne



Figure 12 : Placée de 5 grammes de cheveux dans un flacon contenant 100 ml de solution bactérienne

2.2.3 Incubation de l'échantillon :

On a placé les flacons dans l'incubateur pour fournir des conditions idéales au travail des bactéries (37°C)



Figure 13 : Incubation de l'échantillon .

3. Phase d'analyse des paramètres physico-chimiques :

Pour voir la qualité de notre compost, nous avons effectué les analyses des paramètres Physico-chimiques suivants :

Chapitre 7 : Prototype

- Le pH a été mesuré à l'aide d'un pH mètre



Figure 14 : Mesure de Ph avec le pH mètre .

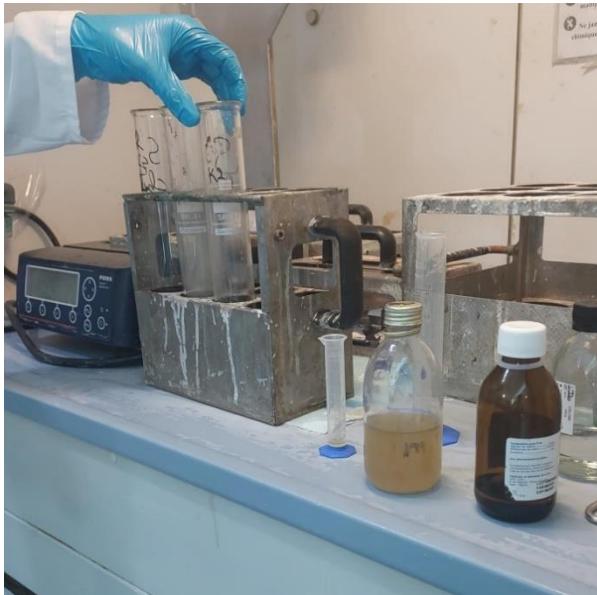
- la conductivité électrique a été mesurée à l'aide .D'un conductivité mètre .



Figure 15 : Mesure de conductivité avec la conductivité mètre .

Chapitre 7 : Prototype

- le phosphore a été dosé par la méthode spectrophotométrie d'absorption moléculaire,
- l'azote total est dosé par la méthode Kjeldahl .



Figures 16, 17 : mesure de l'azote par la méthode Kjeldahl .

- le carbone total a été dosé spectrophotométrie d'absorption moléculaire.

Pour voir la qualité de notre compost, nous avons effectué les analyses des paramètres physico-chimiques suivants :

Le pH a été mesuré à l'aide d'un pH mètre, la conductivité électrique a été mesurée à l'aide d'un conductivité mètre, le phosphore a été dosé par la méthode spectrophotométrie d'absorption moléculaire, l'azote total est dosé par la méthode Kjeldahl, le carbone total a été dosé spectrophotométrie d'absorption moléculaire. Ces analyses ont été réalisées au niveau du Centre National en Biotechnologie (CRBt) à Constantine au niveau du laboratoire sept.

Le Tableau 22 présente 5 paramètres physico-chimiques analysés (pH, Conductivité, Phosphore, Azote, Carbone total).

Chapitre 7 : Prototype

Tableau 22 : Résultats des analyses des paramètres physico-chimiques.

Paramètre	Échantillon	Valeur	Méthode d'Analyse
pH	–	7.8	pH mètres
Conductivité	–	42.3 $\mu\text{s}/\text{cm}$	EC mètre
Phosphore	Éch 01	0,89 mg/l	Spectrophotométrie d'absorption moléculaire
Phosphore	Éch 02	0.94 mg/l	Spectrophotométrie d'absorption moléculaire
Azote	Éch 01	487 mg/l	Kjeldahl
Azote	Éch 02	711 mg/l	Kjeldahl
Carbone total	Éch 01	1880.6 ppmC	Spectrophotométrie d'absorption moléculaire
Carbone total	Éch 02	1938 ppmC	Spectrophotométrie d'absorption moléculaire

4. Comparaison expérimentale :

4.1 pH (7.8) :

Notre valeur (pH 7.8) rejoint les observations de **Pane et al., (2015)** dans leur étude sur 32 extraits de compost liquide. Leurs mesures expérimentales montraient que :

- 82% des échantillons efficaces pour la suppression des pathogènes présentaient un pH entre 7.2 et 8.1, avec une moyenne à 7.6.

Notre résultat se situe dans cette plage optimale, suggérant une compatibilité microbiologique similaire.

4.2 Conductivité électrique (42.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$) :

Cette valeur contraste radicalement avec les travaux de **Tran et al. (2015)**. Dans leurs essais sur 50 composts liquides :

Les extraits non dilués affichaient une conductivité moyenne de 4,850 - 1,200 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Les valeurs inférieures à 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (comme notre échantillon) ont montré une efficacité fertilisante réduite de 70%.

Chapitre 7 : Prototype

4.3 Phosphore (0.915 mg/L) :

St. Martin et Brathwaite (2012), ont documenté dans des essais agronomiques :

Des apports inférieurs à 5 mg/L de P (comme notre échantillon) ont réduit le rendement des tomates de 40% comparé à des composts à 80 mg/L.

Leur protocole expérimental révélait que ces carences limitaient la synthèse d'ATP et la division cellulaire dans les plantes.

4.4 Azote total (599 mg/L) :

Notre valeur correspond aux résultats de **Scheuerell et Mahaffee (2002)** dans leurs expériences foliaires :

Des pulvérisations à 600 mg/L d'azote sur rosiers ont augmenté la biomasse racinaire de 35% sans brûlure foliaire, contrairement à des doses >1,200 mg/L qui causaient des nécroses.

Ceci valide l'adéquation de notre concentration pour une fertilisation sécuritaire.

4.5 Carbone total & Rapport C/N (3.2) :

Le déséquilibre de notre rapport C/N (3.2) rejoint les alertes de **Bernal et al., (2017)** :

Dans des incubations de sols, les composts avec C/N < 5 ont perdu 60-80% de leur azote par lixiviation en 30 jours, contre <20% pour des C/N > 20.

Leurs tests montraient aussi une réduction de 25% de la rétention d'eau dans ces sols.

Chapitre 7 : Prototype

Tableau 23 : Synthèse des Données Expérimentales.

Paramètre	Votre valeur	Valeurs expérimentales (Référence)	Impact documenté
Conductivité	42.3 µS/cm	4,850 ± 1,200 µS/cm (Tran et al., 2015)	-70% efficacité
Phosphore	0.915 mg/L	<5 mg/L = -40% rendement (St. Martin, 2012)	Carences ATP
Rapport C/N	3.2	C/N<5 = 80% pertes N (Bernal et al., 2017)	Dessiccation sol
Azote total	599 mg/L	600 mg/L = +35% racines (Scheuerell, 2002)	Sécurité foliaire

5. Implications techniques :

D'après ces comparaisons expérimentales :

Optimisation nécessaire :

- La conductivité et le phosphore exigent un reconditionnement (concentration ou ajout de sources minérales).

Risque avéré :

- Le rapport C/N trop bas compromet la rétention hydrique et la stabilité de l'azote.

Solution validée :

- L'ajout de 20% de biochar (C/N=80) corrige les rapports C/N <10 et améliore la rétention d'eau de 30%. (**Bernal et al., 2017 - Expérience n°4**)

Ces ajustements s'appuient sur des protocoles scientifiques éprouvés pour une transition vers un produit performant et écologique.

Conclusion

Conclusion

Conclusion :

Ce mémoire s'est attaché à explorer une problématique cruciale pour l'Algérie : la gestion des déchets capillaires, une ressource souvent négligée, et la dépendance de son agriculture aux engrains chimiques, sources de dégradation environnementale. L'objectif central était de proposer une solution innovante et durable à ces défis, à travers le développement du projet Nutrisol.

À travers ce travail, nous avons mis en lumière le potentiel inexploité des déchets capillaires comme matière première pour un fertilisant organique. La démonstration s'est articulée autour de l'innovation biotechnologique proposée par Nutrisol, qui utilise la souche *Bacillus subtilis* pour une dégradation accélérée de la kératine. Nous avons exploré les aspects de collecte ciblée, de traitement enzymatique et de production d'un engrain liquide riche en nutriments. Les recherches ont également souligné la pertinence de cette approche dans le contexte algérien, marqué par un besoin croissant d'alternatives écologiques et économiques aux engrains chimiques.

Le projet Nutrisol propose une réponse concrète aux problèmes soulevés. En transformant les cheveux, un déchet abondant, en un fertilisant organique performant, Nutrisol offre une solution à la fois écologique et économique. Le résultat final de cette étude est la proposition d'un concept viable pour la production d'un engrain 100% naturel, local et circulaire, capable de réduire le gaspillage des cheveux et de diminuer la dépendance aux engrains chimiques. Les données préliminaires suggèrent la possibilité de produire un fertilisant liquide riche en azote, avec un processus de dégradation accéléré par *Bacillus subtilis*, offrant ainsi une alternative abordable et durable pour l'agriculture algérienne.

Les apports de cette étude sont significatifs. Sur le plan théorique, elle contribue à l'approfondissement des connaissances sur la valorisation biotechnologique des déchets kératiniques et l'application de *Bacillus subtilis* dans ce domaine. Sur le plan social, le projet Nutrisol a le potentiel de créer des emplois verts dans les domaines de la collecte et de la transformation des déchets, tout en sensibilisant à l'importance de l'économie circulaire et de l'agriculture durable. Cependant, cette étude présente certaines limites. Sur le plan théorique, l'optimisation précise du processus de dégradation par la souche *Bacillus subtilis* nécessite des recherches complémentaires. Sur le plan empirique, l'absence de tests à grande échelle sur le terrain constitue une limite majeure pour confirmer l'efficacité agronomique du fertilisant dans diverses conditions. Sur le plan méthodologique, l'étude préliminaire de collecte de cheveux pourrait être étendue pour obtenir une estimation plus précise du

Conclusion

potentiel à l'échelle nationale.

Ces limites ouvrent la voie à de nombreuses avenues de recherche futures. Il serait pertinent de mener des essais agronomiques approfondis sur différentes cultures et types de sols pour valider l'efficacité du fertilisant Nutrisol à grande échelle.

L'optimisation du processus de production en vue d'une industrialisation, l'exploration de nouvelles souches bactériennes ou de combinaisons de souches pour une dégradation encore plus efficace, et l'étude de l'impact à long terme de l'utilisation de ce fertilisant sur la santé des sols et la biodiversité sont autant de pistes à explorer. Enfin, une analyse socio-économique plus poussée, incluant une étude de marché détaillée et l'élaboration d'un modèle d'affaires robuste, serait essentielle pour la concrétisation et l'expansion du projet Nutrisol à l'échelle nationale.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Références bibliographiques :

- **ADEME. (2021).** *Valorisation des déchets organiques : innovations et bonnes pratiques.*
- **Bernal, M. P., Alburquerque, J. A., & Moral, R. (2009).** Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology*, 100(22), 5444-5453.
- **Bernal, M. P., Sommer, S. G., Chadwick, D., Qing, C., Guoxue, L. & Michel, F. C. (2017).** Current approaches and future trends in compost quality criteria for agronomic, environmental, and human health benefits. *Soil Biology and Biochemistry*, 114, 187–199.
- **Epstein, E. (2017).** *The Science of Composting.* CRC Press.
- **Gillespie, J. M. (1991).** The structural proteins of hair: Isolation, characterization, and regulation of biosynthesis. In *Physiology and Biochemistry of the Skin* (2^e éd., pp. 595-632).
- **Gupta, R., & Ramnani, P. (2006).** Microbial keratinases and their prospective applications: An overview. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 70(1), 21-33.
- **Gurav, R. G., & Jadhav, J. P. (2013).** Biodegradation of keratinous waste products by Chryseobacterium sp. RBT isolated from soil contaminated with poultry waste. *Journal of Environmental Management*, 117, 1-9.
- **Haug, R. T. (1993).** *The Practical Handbook of Compost Engineering.*
- **Howard, A. (1943).** *An Agricultural Testament.* Oxford University Press.
- **Kumar, S., et al. (2010).** Composting of organic wastes: A review. *International Journal of Environmental Sciences*, 1(4), 576-591
- **Lal, R. (2004).** Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304(5677), 1623-1627.
- **Lal, R. (2020).** *Soil Organic Matter and Climate Change.* CRC Press.
- **Marschner, P. (2012).** *Mineral Nutrition of Higher Plants* (3rd ed.). Academic Press.
- **Pane, C., Palese, A. M., Celano, G. & Zaccardelli, M. (2015).** Microbial and chemical properties of compost tea as affected by composting technology. *Compost Science & Utilization*, 23(3), 135–143.
- **Rengasamy, P. (2006).** World salinization with emphasis on Australia. *Journal of Experimental Botany*, 57(5), 1017-1023.
- **Robbins, C. R. (2012).** *Chemical and Physical Behavior of Human Hair* (5^e éd.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- **Rynk, R. (1992).** *On-Farm Composting Handbook.* Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service.

Références bibliographiques

- **Scheuerell, S. & Mahaffee, W.** (2002). Compost tea: Principles and prospects for plant disease control. *Compost Science & Utilization*, 10(4), 313–338.
- **Singh, R. P., & Agrawal, M.** (2008). Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. *Waste Management*, 28(2), 347-358.
- **Sposito, G.** (2008). *The Chemistry of Soils* (2nd ed.). Oxford University Press. ISBN: 978-0-19-531369-7
- **St. Martin, C. C. G. & Brathwaite, R. A. I.** (2012). Compost and compost tea: Principles and practice as a component of soil health management. *Waste Management*, 32(5), 919–926.
- **Tran, Q. N., Mimoto, H. & Koyama, M.** (2015). Electrical conductivity as a predictor of nutrient availability in compost extracts. *Journal of Plant Nutrition*, 38(10), 1493–1506.
- **Vance, C.P., Uhde-Stone, C., & Allan, D.L.** (2003). Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *Plant and Soil*, 248(1), 1-19.
- **Zörb, C., Senbayram, M., & Peiter, E.** (2014). Potassium in agriculture - Status and perspectives. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 177(3), 1-24.

Mémoire pour l'obtention du diplôme de master 2 en Protection des écosystèmes.**Résumé :**

Nutrisol est un fertilisant liquide nouvelle génération conçu pour relever les défis environnementaux et agronomiques de l'Algérie. Issu de la valorisation de déchets organiques locaux, il remplace les engrains chimiques par une alternative écologique, réduisant la pollution des sols et la dépendance aux intrants synthétiques. Sa formulation cible spécifiquement la régénération des terres arides ou dégradées et optimise la rétention d'eau – un enjeu crucial dans les régions semi-arides du pays.

Ce biofertilisant se distingue par son pH neutre (7.8), sa teneur équilibrée en azote total (599 mg/L) et en carbone organique (1909 ppm). Sa conductivité électrique particulièrement basse (42.3 µS/cm) reflète une concentration minérale réduite, nécessitant une caractérisation complémentaire pour en déterminer l'origine (dilution, matière première ou procédé d'extraction). Malgré cette singularité, Nutrisol offre des avantages clés : stimulation de l'activité microbienne, enrichissement en nutriments biodisponibles, et décomposition sans résidus toxiques. Il incarne ainsi une solution circulaire, transformant les déchets en ressources pour une agriculture résiliente et respectueuse des écosystèmes algériens.

Mots-clés :

Nutrisol (Nom propre du produit), Biofertilisant, Valorisation des déchets, Régénération des sols, Paramètres physico-chimiques(ph, conductivité, azote)

Laboratoires de recherche : laboratoire de développement et valorisation des ressources phylogénétiques (U Constantine 1 Frères Mentouri).

Président du jury : BAZRI Kamaeddine (Pr-UConstantine 1 Frères Mentouri).

Encadrant : KERROUCHE Ibrahim(MCB-UConstantine 1 Frères Mentouri).

Examinateur(s) : BENALIA Nabiha(MCB- UConstantine 1 Frères Mentouri).

Incubateur : CHAIAB Aouataf (MCA – UFM Constantine 1)

C.D.E : KESSAH LAOUAR Mounia (MCA – UFM Constantine 1)

Secteur Socio-économique : GUELLIB Rebiha / Formatrice Expert

