

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية لعليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme D'ingénieur d'État

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Traitement et Réutilisation des Eaux Usées

Thème :

***Production d'un engrais à partir des eaux usées urbaines pour une valorisation agricole***

Soutenu dans le cadre de l'arrêt ministériel 1275-08

Présenté par :

REKKACHE Amira

REFSI Chaimaa

Soutenu le 27 juin 2026, devant le jury composé de :

|                   |                               |                               |
|-------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Mme GHAZI M.      | ENSSMAL                       | Présidente                    |
| Mme BENTCHIKOU L. | ENSSMAL                       | Promotrice                    |
| Mme CHARIFI S.    | ENSSMAL                       | Examinatrice                  |
| Mme MAOUEL D.     | ENSSMAL                       | Représentante de l'incubateur |
| M HANNANE EH.     | Partenaire sociaux économique | Invité                        |
| Mme SACI Z.       | Partenaire sociaux économique | Examinatrice                  |
| M RECHIDI A.      | Partenaire sociaux économique | Examineur                     |

Année universitaire : 2025-2026

## **Remerciement**

Avant tout, nous remercions Allah le Tout-Puissant de nous avoir donné la santé, la volonté et la patience nécessaires pour mener à bien ce travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre promotrice, Mme BENTCHIKOU Latifa, pour son encadrement, sa disponibilité, ses précieux conseils et son soutien tout au long de la réalisation de ce projet de fin d'études.

Nous exprimons nos sincères remerciements aux membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'évaluer ce travail. Nous adressons notre profonde gratitude à Mme GHAZI Malika, Présidente du jury, ainsi qu'à Mme CHARIFI Salima, Examinatrice, pour le temps qu'elles ont consacré à l'étude de ce mémoire, ainsi que pour leurs remarques, leurs observations et leurs précieuses contributions.

Nous remercions l'ensemble des formateurs et coachs qui nous ont suivis et accompagnés à travers l'incubateur Blue Start, Mme Maouel Djamila, Mr Hadji Aissa Ayoub (Formateur).

Nous adressons un remerciement tout particulier à Mr HANNANE, qui nous a accompagnés et soutenus à chaque étape de ce projet. Sa patience, ses conseils avisés et son aide précieuse nous ont permis de surmonter de nombreuses difficultés et d'avancer avec confiance jusqu'à l'achèvement de ce travail.

Nous adressons également nos sincères remerciements à Mme GUERROUMI et Mr DJERRAI, membre du personnel du laboratoire de l'École, pour sa disponibilité, son aide précieuse et son soutien tout au long de la réalisation de ce travail. Son assistance technique et ses conseils ont grandement contribué au bon déroulement de la partie expérimentale de ce projet.

Nos remerciements s'étendent à l'ensemble des enseignants du département de DEA et Mme Ghazali qui ont contribué à notre formation et nous ont transmis leurs connaissances tout au long de notre parcours universitaire.

Notre reconnaissance va également à tout le personnel et les enseignants de l'Ecole Supérieur des Sciences de la Mer et de l'Aménagement de Littoral.

Enfin, Nos remerciements s'étendent à tous les organismes et à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

# DÉDICACE

First and foremost, I give all praise and thanks to Allah, whose infinite mercy, guidance, and blessings have given me the strength, patience, and determination to complete this work. Every success I have achieved is by His will, and for that, I am forever grateful.

To my beloved father, ALI: words can never fully express the gratitude I hold in my heart for you. Thank you for your sacrifices, your unwavering support, and your constant belief in me. You have always been my source of strength, encouragement, and inspiration. This accomplishment is a reflection of your efforts, guidance, and the values you passed on to me.

To my dear mother, NADJIA thank you for your endless love, prayers, and kindness. Your comforting words, patience, and unconditional support carried me through the most challenging moments of this journey. Your faith in me gave me the courage to keep moving forward, even when the path seemed difficult.

To my wonderful sisters, ACHOUAK and AYA: thank you for being my companions, my supporters, and my source of joy. Your encouragement, understanding, and love have been a constant blessing in my life. I am grateful for every laugh, every conversation, and every moment of support you have given me.

To my bestie, AHLEM: thank you for being by my side through every challenge and every success. Your friendship has been one of the greatest gifts in my life. Thank you for listening, encouraging me, believing in me, and reminding me of my strength whenever I needed it most.

To my family, Mohammed Amen, Ratiba, Nada, Haitem, Imad, all my beloved family: thank you for your love, encouragement, and unwavering confidence in me. Your support has always been my foundation and my motivation for achieving my goals.

To my binôme, CHAIMAA: Thank you for your cooperation, dedication, and support throughout this project. Working with you made the challenges easier and the achievements more rewarding. I truly appreciate your hard work, patience, and friendship.

To all my friends, my emotional support, the people that I sat with in my first day of uni and never though they will be the greatest friends I will ever have, Belkis, Rosa, Ilhem, Yousra, Imen, Wafa, Rouaida, to all of you: thank you for your kindness, encouragement, and for sharing both the difficult and joyful moments of this journey. Your support, in ways big and small, has contributed to the completion of this work.

To our sweet little girl, LILIA: though you are no longer with us, your memory lives on in our hearts and will never be forgotten. This achievement is dedicated to your beautiful soul, my Allah grant you the highest place in Jannah.

This achievement belongs not only to me, but also to all those who stood beside me and never stopped believing in my dreams.

Last but not least, I wanna thank me, I wanna thank me for believing in me, I wanna thank me for all this hard work, I wanna thank me for never quitting, never giving up, I wanna thank me for just being me all times.

**AMIRA**

# DÉDICACE

À ma très chère mère, Merci pour ton amour inconditionnel, ta tendresse, tes prières et ton soutien de chaque instant. Tu as toujours été ma force dans les moments difficiles et ma source de motivation pour avancer. Que ce travail soit un témoignage de mon immense gratitude et de tout l'amour que je te porte.

À mon cher père, Ton soutien discret, ta confiance et tes sacrifices ont été une source de force tout au long de mes études. Je te dédie ce travail avec tout mon respect et ma gratitude. Que cette réussite soit le reflet de tout ce que tu m'as apporté.

À ma très chère grand-mère, Toi qui m'as toujours considérée comme l'une de tes filles, merci pour ton affection, ta bienveillance et ton soutien indéfectible. Tes encouragements, tes prières et ton désir de me voir réussir et atteindre les plus hauts rangs ont toujours été une source de motivation pour moi. Je te dédie ce travail avec tout mon amour et ma profonde reconnaissance, en espérant être à la hauteur de la confiance que tu m'as toujours accordée.

À mes chers frères et sœurs, Wissal, Ritadj, Abdelkhalek et Chahine,

Vous avez toujours été une partie essentielle de ma vie, dans les moments de joie comme dans les moments de doute. Merci pour votre soutien, votre affection et 'votre présence à mes côtés. Je vous dédie ce travail avec tout mon amour, en espérant vous rendre fiers aujourd'hui et toujours.

À mon amie Hanaa, Merci pour ton amitié sincère, ton soutien constant et ta présence dans les moments de joie comme dans les moments difficiles. Tes encouragements, ton écoute et ta bienveillance m'ont beaucoup aidée tout au long de ce parcours. Je te dédie ces quelques mots avec toute mon affection et ma profonde gratitude.

À mes chères tantes Asma et Farida, Bien plus que de simples tantes pour moi, vous avez toujours occupé une place très spéciale dans ma vie. Merci pour votre amour, votre présence, votre soutien et toute l'attention que vous m'avez accordée depuis toujours

À ma binôme Amira, Merci pour ta présence à mes côtés tout au long de ce travail. Tu as été une excellente partenaire de travail et la meilleure compagne d'études, toujours sérieuse, impliquée et prête à aider. Ton soutien, ton esprit d'équipe et ta motivation ont grandement contribué à la réalisation de ce projet. Je te dédie ces quelques mots avec toute ma reconnaissance et mon respect.

À mes amies Belkis, Wafa et Rouaida, Merci pour votre présence, votre soutien et les moments partagés durant nos études et la période de préparation de ce mémoire. Votre encouragement et votre compagnie ont rendu ce parcours plus facile et plus agréable

À Amine, Merci pour ton soutien et ta présence pendant ce parcours. T'as été là quand il fallait, et ça a compté

À Mr Elhadi, Merci pour ton soutien constant, ton aide précieuse et ta patience tout au long de ce travail. Tu m'as vraiment accompagnée à chaque étape.

**CHAIMAA**

# Carte d'information

## 1- Équipe d'encadrement :

|                                                   |                                                                                       |                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Encadrant principal :<br><b>BENTCHIKOU Latifa</b> | Spécialité :<br><b>Génie des Procédés<br/>Procédés chimiques et<br/>Environnement</b> | <br><small>shutterstock.com - 2663122897</small> |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## 2- Équipe de projet :

| Équipe de projet          | Faculté                                                                                    | Spécialité                                       |  |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>REKKACHE<br/>Amira</b> | École Nationale Supérieure<br>des Sciences de la Mer et<br>de l'Aménagement du<br>Littoral | Traitement et<br>Réutilisation des<br>Eaux Usées |                                                                                       |
| <b>REFSI Chaimaa</b>      | École Nationale<br>Supérieure des Sciences de<br>la Mer et de<br>l'Aménagement du Littoral | Traitement et<br>Réutilisation<br>des Eaux Usées |                                                                                       |

## LISTE DES FIGURES

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Carte d'information.....                                                                       | 5  |
| Figure I-1 : Carte ID du projet.....                                                           | 12 |
| Figure III-1 : Logo de l'Entreprise. ....                                                      | 23 |
| Figure III-2 : Collection des différents formats de conditionnement. ....                      | 24 |
| Figure III-3 : Stratégie de positionnement .....                                               | 26 |
| Figure IV-1 : Étapes de fabrication du la Struvite.....                                        | 30 |
| Figure VI-1 : produit obtenue(Struvite) .....                                                  | 44 |
| Figure VI-2 : le point de prélèvement "Epaississeur" .....                                     | 45 |
| Figure VI-3 : Courbe d'étalonnage $\text{PO}_4^{3-}$ — Méthode molybdate bleu.....             | 46 |
| Figure VI-4 : Étape de précipitation de la struvite sous agitation magnétique .....            | 48 |
| Figure VI-5 : étape de décantation statique des cristaux de la struvite.....                   | 49 |
| Figure VI-6 : Dispositif de filtration sous vide .....                                         | 49 |
| Figure VI-7 : Précipité de struvite humide retenu sur la membrane filtrante.....               | 49 |
| Figure VI-8 : Précipité de struvite séché .....                                                | 50 |
| Figure VI-9 : Récupération du précipité de struvite.....                                       | 50 |
| Figure VI-10 : Struvite obtenue .....                                                          | 51 |
| Figure VI-11 : Comparaison de la croissance des lentilles entre le témoin et la struvite. .... | 52 |

## LISTE DES TABLEAUX

|                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau I.1 : Calendrier de réalisation du projet.....                                                  | 15 |
| Tableau III-1 : Part du marché des différents concurrents directs, leurs forces et faiblesses. ....     | 21 |
| Tableau III-2 : Répartition de la taille du marché des engrais en Algérie par acteur .....              | 22 |
| Tableau V-1 : Investissements. ....                                                                     | 35 |
| Tableau V-2 : Détails des amortissements .....                                                          | 36 |
| Tableau V-3 : Mode de financement de besoin de démarrage .....                                          | 36 |
| Tableau V-4 : Plan de financement sur 3 ans. ....                                                       | 37 |
| Tableau V-5 : Chiffre d'affaires. ....                                                                  | 37 |
| Tableau V-6 : Le scénario optimiste et le scénario pessimiste.....                                      | 38 |
| Tableau V-7 : Compte de résultats prévisionnel sur 3 ans. ....                                          | 39 |
| Tableau V-8 : Solde intermédiaire de gestion. ....                                                      | 40 |
| Tableau V-9 : Seuil de rentabilité .....                                                                | 40 |
| Tableau V-10 : Besoin en fonds de roulement.....                                                        | 40 |
| Tableau V-11 : Budget prévisionnel de trésorerie. ....                                                  | 41 |
| Tableau VI-1 : Influence du pH sur le rendement de précipitation de la struvite .....                   | 47 |
| Tableau VI-2 : Influence du rapport molaire Mg:P sur le rendement de précipitation de la struvite ..... | 47 |

## Table des matières

|                                                          |    |
|----------------------------------------------------------|----|
| Introduction générale .....                              | 10 |
| Premier axe Présentation du projet.....                  | 11 |
| I.1    L'idée de projet.....                             | 12 |
| I.2    Les valeurs proposées :.....                      | 13 |
| I.3    Équipe de travail : .....                         | 13 |
| I.4    Objectifs du projet : .....                       | 14 |
| I.5    Calendrier de réalisation du projet :.....        | 14 |
| Deuxième axe Aspects innovants .....                     | 16 |
| II.1    Nature et domaine des innovations : .....        | 17 |
| Troisième axe Analyse stratégique du marché.....         | 18 |
| III.1    Le segment du marché : .....                    | 19 |
| III.2    Mesure de l'intensité de la concurrence : ..... | 20 |
| III.3    Taille du marché : .....                        | 22 |
| III.4    La stratégie marketing : .....                  | 23 |
| Quatrième axe Plan de production et d'organisation ..... | 29 |
| IV.1    Processus de production .....                    | 30 |
| IV.2    Approvisionnement.....                           | 30 |
| IV.3    Main d'œuvre.....                                | 31 |
| IV.4    Les Principaux partenaires .....                 | 33 |
| Cinquième axe Plan financier.....                        | 34 |
| V.1    Les coûts et charges .....                        | 35 |
| V.2    le chiffre d'affaires.....                        | 37 |
| V.3    Compte de résultats prévisionnel sur 3 ans.....   | 39 |
| V.4    Le Plan de trésorerie .....                       | 41 |
| Sixième Axe Prototype expérimental .....                 | 43 |
| VI.1    présentation de produit obtenu .....             | 44 |
| VI.2    les étapes de réalisation .....                  | 45 |
| VI.3    Valorisation Agricole .....                      | 51 |
| Conclusion générale .....                                | 54 |
| Références bibliographies                                |    |
| Annexes                                                  |    |

# **Introduction générale**

### Introduction générale

Face aux défis environnementaux croissants et à la nécessité de préserver les ressources naturelles, le concept d'économie circulaire s'impose aujourd'hui comme une approche incontournable pour assurer un développement durable. Dans ce contexte, la valorisation des eaux usées ne se limite plus à leur traitement avant rejet, mais vise également la récupération des ressources qu'elles contiennent, notamment les nutriments tels que le phosphore et l'azote. (Le Corre et al., 2009).

Le phosphore est un élément indispensable à la croissance des plantes et à la production agricole. Cependant, les réserves mondiales de phosphate naturel sont limitées et leur exploitation entraîne des impacts environnementaux et économiques considérables. Parallèlement, le rejet excessif du phosphore dans les milieux aquatiques contribue au phénomène d'eutrophisation, responsable de la dégradation de la qualité des eaux et de la perturbation des écosystèmes aquatiques. Face à cette problématique, le développement de solutions innovantes permettant la récupération et la réutilisation de cet élément devient une nécessité. (Cordell & Drangert, 2009).

Parmi les technologies de valorisation des nutriments, la précipitation de la struvite ( $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) constitue l'une des méthodes les plus prometteuses. La struvite est un composé cristallin formé à partir du magnésium, de l'ammonium et du phosphate présents dans les eaux usées. Grâce à sa richesse en éléments nutritifs essentiels, elle peut être utilisée comme engrais à libération lente, offrant ainsi une alternative durable aux fertilisants conventionnels tout en réduisant les impacts environnementaux liés aux rejets des stations d'épuration.

Historiquement, la struvite a été identifiée pour la première fois au XIX<sup>e</sup> siècle par le minéralogiste allemand Heinrich von Struve, dont elle porte le nom. Pendant de nombreuses années, sa formation spontanée dans les stations d'épuration et les réseaux d'assainissement était considérée comme un problème technique, car elle provoquait des dépôts solides, le colmatage des canalisations et des équipements, entraînant des coûts importants de maintenance. À partir des années 1990, les avancées scientifiques ont permis de considérer la struvite non plus comme un déchet, mais comme une ressource valorisable. Des procédés de précipitation contrôlée ont alors été développés afin de récupérer le phosphore et l'azote contenus dans les eaux usées et de produire un engrais à libération lente, s'inscrivant pleinement dans les principes de l'économie circulaire. (Doyle & Parsons, 2002).

Au cours des dernières années, plusieurs recherches ont démontré l'efficacité de la récupération du phosphore sous forme de struvite à partir des effluents urbains et industriels. Cette technologie permet non seulement de réduire la charge polluante des eaux usées, mais également de produire un fertilisant à forte valeur ajoutée répondant aux besoins croissants du secteur agricole. De plus, l'augmentation de la demande mondiale en engrais durables et respectueux de l'environnement renforce l'intérêt économique de cette filière innovante. (Le Corre et al., 2009).

En Algérie, le secteur agricole occupe une place stratégique dans le développement économique du pays. Toutefois, la dépendance aux engrais importés ainsi que les défis liés à la gestion des ressources hydriques nécessitent l'adoption de solutions locales, durables et innovantes. La valorisation des eaux usées par récupération des nutriments représente ainsi une opportunité importante pour soutenir l'agriculture nationale tout en contribuant à la protection de l'environnement.

C'est dans cette perspective qu'a été développé le projet "**NutriLoop**", une startup innovante spécialisée dans la production d'engrais écologiques à base de struvite obtenue à partir des eaux usées. L'objectif de cette entreprise est de transformer une source potentielle de pollution en une ressource utile pour l'agriculture, en proposant une solution durable conciliant performance environnementale et rentabilité économique.

Le concept de **NutriLoop** repose sur la récupération du phosphore et de l'azote contenus dans les effluents des stations d'épuration grâce à un procédé de précipitation contrôlée de la struvite. Le produit obtenu est ensuite valorisé sous forme d'engrais destiné aux exploitations agricoles, participant ainsi à la réduction de la dépendance aux ressources phosphatées conventionnelles et à la promotion d'une agriculture plus durable.

Sur le plan commercial, le marché des fertilisants écologiques connaît une croissance continue sous l'effet des nouvelles exigences environnementales et de la recherche de pratiques agricoles plus responsables. Grâce à son caractère innovant et à sa contribution à l'économie circulaire, **NutriLoop** dispose d'un potentiel important de développement et de différenciation sur le marché national.

L'entreprise ambitionne ainsi de répondre aux besoins des agriculteurs tout en offrant une solution concrète aux enjeux liés à la gestion durable des eaux usées.

Dans le cadre de l'arrêté ministériel n°1275 du 27 septembre 2022 relatif au Diplôme Startup/Brevet, cette étude s'inscrit dans une démarche de création d'entreprise innovante. Elle vise à évaluer la faisabilité technique, économique et commerciale du projet **NutriLoop**, tout en mettant en évidence son impact environnemental et sa contribution au développement durable.

De ce fait, la conception de **NutriLoop** nécessite l'élaboration d'un **Business Model Canvas (BMC)** permettant d'analyser les différents aspects stratégiques du projet, notamment les segments de clientèle, la proposition de valeur, les canaux de distribution, les relations clients, les sources de revenus, les ressources clés, les activités clés, les partenaires clés ainsi que la structure des coûts. Cet outil constitue une étape essentielle pour assurer la viabilité et le succès de l'entreprise sur le marché des fertilisants durables.



**Premier axe**  
**Présentation du projet**

## I.1 L'idée de projet

En raison des conflits mondiaux et de l'évolution de l'économie internationale, les prix des produits importés connaissent d'importantes fluctuations. Par conséquent, les agriculteurs recherchent des alternatives aux engrais importés, notamment parce que l'Algérie dépend largement des engrais phosphorés importés. Dans ce contexte, ce projet s'inscrit dans les secteurs industriel et agricole en proposant la production d'engrais à partir d'eaux usées riches en nutriments tels que l'azote et le phosphore, actuellement rejetés dans l'environnement et responsables de l'eutrophisation. Ce projet relève également de l'économie circulaire, en valorisant les déchets par leur transformation en produits à forte valeur ajoutée, conformément aux efforts nationaux de restauration et de réutilisation des eaux usées.

L'idée de projet se matérialisera par la création de l'entreprise "NutriLoop", du point de vue juridique, notre start-up sera constituée sous la forme d'une Société à Responsabilité Limitée (SARL), au statut particulièrement adapté aux structures de taille petite et moyenne. Elle repose sur un partenariat entre deux associés, ce qui favorise une répartition équilibrée des responsabilités et une gestion souple. Elle est enregistrée sous le code d'activité 104108 "Fabrication de Divers Engrais" conformément à la Nomenclature Algérienne des Activités Économiques soumise à l'inscription au registre du commerce. Ce code couvre l'ensemble des opérations liées à la fabrication de différents engrais. Cet enregistrement nous offre un cadre juridique clair et permet à notre structure de participer pleinement au secteur agricole algérien et de contribuer au développement de produits fonctionnels à base de nutriments, en adéquation avec les besoins agricoles actuels du marché.



Figure I-1 : Carte ID du projet

## I.2 Les valeurs proposées :

Ce projet répond à l'absence ainsi qu'au besoin d'existence d'une filière locale de production de struvite en Algérie et introduit un concept innovant d'économie circulaire dans le secteur de l'eau, où les effluents urbains sont transformés en intrants agricoles à forte valeur ajoutée. Sur le plan agronomique, la struvite offre des performances équivalentes ou supérieures à celles des engrais phosphatés conventionnels tels que le DAP ou le TSP, en raison de sa libération lente et progressive des nutriments NPMg sur une période de 6 à 12 mois. Cette caractéristique réduit les pertes par lessivage et optimise l'assimilation des nutriments par les plantes. Par ailleurs, le procédé de précipitation présente une flexibilité notable : l'ajustement des paramètres physico-chimiques, tels que le pH, le rapport Mg:P et le temps de réaction, permet d'adapter la composition et la granulométrie du produit aux caractéristiques spécifiques des eaux usées de chaque station d'épuration ainsi qu'aux besoins des cultures ciblées.

Ce produit facilite grandement la tâche principale de l'agriculteur (une fertilisation efficace et équilibrée) en concentrant trois éléments nutritifs essentiels (phosphore, azote et magnésium) au sein d'un seul intrant. Il permet ainsi de simplifier considérablement le programme de fertilisation.

Sous forme de granules solides, la struvite est facile à stocker, à transporter et à épandre, sans nécessiter d'équipement spécifique. Elle sera proposée dans des conditionnements adaptés au marché algérien : sacs de 5 kg, 25 kg et 50 kg. Un mode d'emploi clair, précisant les doses et les cultures suggérées, sera inclus avec chaque emballage pour garantir une utilisation facile par les agriculteurs, des petits potagers aux grandes fermes.

En remplaçant en substituant progressivement les engrais importés, ce projet garantit aux agriculteurs un approvisionnement régulier à prix stables, à l'abri des fluctuations des marchés internationaux, tout en réduisant les coûts de main-d'œuvre grâce à une moindre complexité d'utilisation.

## I.3 Équipe de travail :

L'équipe du projet est composée de professionnels passionnés chacun apportant des compétences spécifiques :

- **REKKACHE Amira**, diplôme : Ingénieur d'état en Traitement et Réutilisation des Eaux Usées.

\*Formation sur l'entrepreneuriat et la création d'entreprise à l'incubateur BlueStart de l'ENSSMAL.

Rôle : Gérante.

- **REFSI Chaimaa**, diplôme : Ingénieur d'état en Traitement et Réutilisation des Eaux Usées.

\*Formation sur l'entrepreneuriat et la création d'entreprise a l'incubateur BlueStart de l'ENSSMAL.

Rôle : Co-Gérante.

#### **I.4 Objectifs du projet :**

- ✓ Devenir le premier producteur algérien de struvite issu des eaux usées urbaines et s'imposer comme fournisseur de référence d'engrais circulaire NPMg sur le marché agricole national.
- ✓ Maîtriser et optimiser le procédé de précipitation du struvite à l'échelle pilote puis industrielle.
- ✓ Établir des contrats d'approvisionnement avec les STEP's et des accords de distribution avec les coopératives agricoles.
- ✓ Contribuer à la réduction de la pollution phosphorée des milieux récepteurs.

#### **I.5 Calendrier de réalisation du projet :**

Le tableau I.1 ci-dessous présente le planning des principales étapes de mise en œuvre du projet, depuis l'étude de marché jusqu'au lancement de la startup, afin d'assurer une répartition systématique des actions et la réussite de l'initiative.

Tableau I.1 : Calendrier de réalisation du projet

|                |          | MOIS                                                                           |          |          |          |          |          |          |          |          |
|----------------|----------|--------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                |          |                                                                                | 1        | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        | 7        | 8        |
| <b>Travaux</b> | <b>1</b> | <b>Etude préalable, (choix de l'implantation et préparation des documents)</b> | <b>X</b> | <b>X</b> | <b>X</b> |          |          |          |          |          |
|                | <b>2</b> | <b>Construction d'un siège de production (Usine)</b>                           |          |          | <b>X</b> | <b>X</b> | <b>X</b> |          |          |          |
|                | <b>3</b> | <b>Commande des équipements</b>                                                |          |          | <b>X</b> | <b>X</b> | <b>X</b> |          |          |          |
|                | <b>4</b> | <b>Aménagement de l'unité de production</b>                                    |          |          |          | <b>X</b> | <b>X</b> |          |          |          |
|                | <b>5</b> | <b>Achat de la matière premier</b>                                             |          |          |          | <b>X</b> | <b>X</b> |          |          |          |
|                | <b>6</b> | <b>Réalisation de prototype</b>                                                |          |          |          |          |          | <b>X</b> |          |          |
|                | <b>7</b> | <b>Elaboration la stratégie marketing et communication</b>                     |          |          |          |          |          | <b>X</b> | <b>X</b> |          |
|                | <b>8</b> | <b>Lancement de Startup</b>                                                    |          |          |          |          |          |          |          | <b>X</b> |



**Deuxième axe**  
**Aspects innovants**

## II.1 Nature et domaine des innovations :

L'innovation de ce projet s'inscrit dans une logique de valorisation environnementale et agricole des nutriments contenus dans les eaux usées urbaines. Au lieu d'une rupture brutale avec les procédés classiques de traitement, le projet propose une approche progressive et maîtrisée, fondée sur la précipitation contrôlée de la struvite ( $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ). Cette démarche permet de transformer un déchet problématique en ressource valorisable, tout en renforçant la durabilité des systèmes d'assainissement et en produisant un engrais naturel à libération lente.

La valeur ajoutée de cette innovation réside non seulement dans l'application d'un procédé chimique bien connu, mais surtout dans l'optimisation fine des conditions de précipitation (pH, concentrations en  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ ) et dans son adaptation au contexte agricole. Ce contrôle précis garantit la pureté, la stabilité et l'efficacité agronomique du produit final.

Ainsi, le projet répond à une double exigence : limiter les risques d'eutrophisation liés au rejet des eaux usées et proposer une alternative durable et locale aux engrais chimiques importés.

En somme, ce projet se situe à la croisée de plusieurs formes d'innovation : Innovation technologique, par l'introduction d'un procédé de récupération des nutriments encore peu exploité en Algérie. Ainsi, le projet illustre comment une problématique environnementale peut être redirigée en opportunité économique et agricole, en conciliant performance technique, durabilité et pertinence locale.

**Troisième axe**  
**Analyse stratégique du**  
**marché**

### III.1 Le segment du marché :

**Positionnement :** une stratégie de spécialisation axée sur un produit local, circulaire et à haute valeur ajoutée agronomique, proposé à un prix compétitif par rapport aux engrais phosphates importés.

**Segmentation :**

Le marché de NutriLoop est segmenté selon le type de client et l'usage agricole. Quatre segments principaux ont été identifiés : les agriculteurs professionnels, cible prioritaire grâce à leurs besoins élevés en engrais phosphatés, les agriculteurs biologiques recherchant des solutions naturelles et durables, les coopératives agricoles et grossistes comme intermédiaires de distribution, ainsi que les petits agriculteurs et jardiniers amateurs attirés par des conditionnements accessibles. Les grossistes et détaillants sont considérés principalement comme des canaux de distribution et non comme des clients finaux.

**Cible :**

Notre cible commerciale prioritaire regroupe les agriculteurs professionnels algériens qui cherchent à réduire leur dépendance aux intrants importés et à sécuriser leur approvisionnement en engrais phosphatés à prix stable. Il s'agit notamment des exploitants de grandes cultures céréalières et maraichères de la plaine de la Mitidja (wilayas de Blida, Tipaza, Boumerdes), dont le niveau de mécanisation et les superficies importantes les rendent particulièrement sensibles aux arguments de compétitivité économique, de disponibilité locale et d'efficacité agronomique. Cette catégorie de consommateurs se caractérise par une recherche constante d'intrants performants, disponibles sans rupture de stock et dont le prix est indépendant des fluctuations des marchés internationaux.

En Algérie, notre engrais s'adresse à tout le monde, sans exception. Il parle aux agriculteurs biologiques qui cherchent des engrais naturels certifiés et considèrent son prix comme raisonnable au regard de la qualité et de l'origine traçable du produit, ce groupe est plus susceptible d'adopter rapidement les innovations agronomiques durables. Il s'adresse également aux coopératives agricoles qui effectuent des achats groupés en volumes importants, aux détaillants spécialisés en intrants agricoles qui cherchent à diversifier leur gamme avec des produits innovants, et aux petits exploitants et jardiniers amateurs pour lesquels le format 5 kg représente une entrée accessible sur le marché des engrais de qualité.

### **III.2 Mesure de l'intensité de la concurrence :**

#### **➤ Analyse Porter :**

L'analyse des cinq forces de Porter permet d'évaluer l'intensité concurrentielle du secteur des engrais écologiques. Dans le cas de NutriLoop, spécialisé dans la production de struvite, on a :

#### **1. Menace des nouveaux entrants :**

- Modérée. Le marché des engrais durables attire de nouvelles entreprises, mais les investissements techniques et les réglementations environnementales restent des barrières importantes.

#### **2. Pouvoir de négociation des fournisseurs :**

- Faible à modéré. Les eaux usées traitées sont disponibles localement, mais certains réactifs chimiques et équipements spécialisés peuvent augmenter la dépendance aux fournisseurs.

#### **3. Pouvoir de négociation des clients :**

- Fort. Les agriculteurs comparent les prix, l'efficacité et le rendement avec les engrais chimiques classiques.

#### **4. Menace des produits de substitution :**

- Importante. Les engrais chimiques, organiques et le compost représentent des alternatives déjà bien implantées sur le marché.

#### **5. Intensité de la rivalité concurrentielle :**

- Forte. Présence de nombreux producteurs d'engrais locaux et internationaux avec une forte concurrence sur les prix et la performance des produits.

#### **➤ Etude de l'offre :**

Le domaine des engrais agricoles occupe une place stratégique dans l'économie agroalimentaire algérienne, caractérise par une dépendance quasi-totale aux importations et un manque d'engrais phosphatés. Cette situation crée une vulnérabilité économique réelle face aux fluctuations des prix mondiaux et aux aléas des chaînes d'approvisionnement internationales.

L'analyse concurrentielle nous a permis d'identifier les principaux acteurs opérant sur ce marché et d'évaluer leurs forces et faiblesses respectives. Elle ne se limite pas à leur position sur le marché, mais s'étend à l'analyse de leurs avantages compétitifs et de leurs stratégies. Cette démarche permet de mieux cerner les leviers de différenciation disponibles pour NutriLoop, d'anticiper les réactions concurrentielles et d'identifier les opportunités d'amélioration pour notre propre positionnement.

**Tableau III-1 : Part du marché des différents concurrents direct, leurs forces et faiblesses.**

| Entreprise                                    | Part de marché | Forces                                                                                                                                                                                                                                              | Faiblesse                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fertial (ASMIDAL) – Urée 46% / Ammonitrate    | 35%            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Leader national des engrais chimiques.</li> <li>- Grande capacité de production.</li> <li>- Réseau de distribution développé.</li> <li>- Produits très utilisés par les agriculteurs algériens.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Impact environnemental élevé.</li> <li>- Prix variables selon le marché énergétique.</li> <li>- Forte consommation d'énergie dans la production.</li> </ul> |
| Sorfert Algérie – Urée granulée               | 25%            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Production industrielle moderne.</li> <li>- Produit riche en azote.</li> <li>- Bonne disponibilité sur le marché.</li> </ul>                                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dépendance au gaz naturel.</li> <li>- Produit chimique avec risque de lessivage.</li> <li>- Peu orienté vers les solutions écologiques.</li> </ul>          |
| Engrais NPK importés (Yara, Timac Agro, etc.) | 25%            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Formulations variées adaptées aux cultures.</li> <li>- Marques reconnues mondialement.</li> <li>- Haute efficacité agronomique.</li> </ul>                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Prix élevés.</li> <li>- Dépendance aux importations.</li> <li>- Accessibilité limitée pour certains agriculteurs.</li> </ul>                                |
| DAP/MAP importés (phosphatés)                 | 15%            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Forte concentration en phosphore.</li> <li>- Très utilisés en agriculture intensive.</li> <li>- Résultats rapides sur les rendements.</li> </ul>                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût élevé.</li> <li>- Risque de pollution des sols et des eaux.</li> <li>- Ressource phosphatée non renouvelable.</li> </ul>                               |

Nos concurrents indirects sont ceux qui ne proposent pas exactement le même produit mais qui répondent aux mêmes besoins de fertilisation des cultures. Il s'agit notamment des distributeurs de fumier et de compost issus de l'élevage, largement répandus dans les exploitations agricoles algériennes, ainsi que des importateurs d'engrais biologiques certifiés, dont les prix élevés et la disponibilité limitée freinent l'adoption par les agriculteurs conventionnels.

**Leurs forces :** disponibilité locale et cout faible pour les engrais organiques traditionnels, image naturelle et acceptation en agriculture biologique pour les engrais organiques certifiés.

**Leurs faiblesses :** efficacité moins maîtrisée et teneur en nutriments variable pour les intrants organiques traditionnels, prix prohibitifs et approvisionnement dépendant des importations pour les engrais biologiques certifiés.

### ➤ Etude de la demande :

Dans le cadre de la validation terrain de notre concept, une enquête a été menée auprès d'un échantillon de 100 consommateurs issus de différentes catégories socioprofessionnelles agricoles de la région d'Alger, avait pour objectif de mieux cerner les habitudes de consommation des engrais agricoles, et de comprendre les critères d'achat les plus déterminants, tels que le format d'emballage, le prix, le lieu d'achat et la fréquence d'approvisionnement. Pour ce faire, nous avons utilisé un questionnaire composé d'une vingtaine de questions adressées aux agriculteurs de la plaine de la Mitidja.

L'enquête montre que la demande pour un engrais local et écologique demeure encore émergente mais prometteuse, avec un taux d'acceptation de 60% pour un engrais produit à partir d'eaux usées urbaines traitées si son efficacité est scientifiquement prouvée. Ce profil ouvre des perspectives encourageantes pour une startup locale innovante et durable. Une approche combinant démonstration agronomique et positionnement tarifaire compétitif pourrait ainsi constituer un levier différenciateur face aux engrais importés qui dominent actuellement le marché algérien.

### III.3 Taille du marché :

D'après la veille concurrentielle et l'étude de marché, la taille du marché des engrais en Algérie a été synthétisée dans le tableau suivant :

**Tableau III-2 : Répartition de la taille du marché des engrais en Algérie par acteur**

| Entreprise / Produit  | Taille du marché (DZD/an) | Taille du marché (Tonnes/an) |
|-----------------------|---------------------------|------------------------------|
| Fertial (ASMIDAL) 35% | 52 500 000 000            | 700 000                      |
| Sorfert 25%           | 42 000 000 000            | 560 000                      |
| NPK importés 25%      | 30 000 000 000            | 400 000                      |
| DAP/MAP importés 15%  | 18 000 000 000            | 240 000                      |
| Total                 | 142 500 000 000           | 1 900 000                    |

Sur la base de l'analyse de l'offre et de la demande, l'enquête révèle que les agriculteurs algériens demeurent largement dépendants des engrais azotés subventionnés et des engrais phosphatés conventionnels (DAP, MAP, NPK) entièrement importés. Les principaux critères de choix restent l'efficacité agronomique, le prix et la disponibilité locale, alors qu'un intérêt croissant est observé pour des alternatives locales et durables permettant de réduire les coûts d'importation et les impacts

environnementaux. Une grande partie des répondants se déclare disposée à adopter un engrais innovant issu de la valorisation des eaux usées, à condition que son efficacité soit scientifiquement démontrée et son coût compétitif. À la suite de ces résultats et de la taille estimée du marché des engrais phosphatés dans la wilaya d'Alger, notre projet vise à capter progressivement environ 5% de ce segment, en proposant une struvite produite localement, à libération lente et respectueuse de l'environnement.

### III.4 La stratégie marketing :

Pour toute entreprise il est crucial de mettre en place une stratégie marketing efficace visant à attirer l'attention de sa clientèle cible et à stimuler la décision d'achat. Nous veillons à mettre en place des stratégies pertinentes afin d'assurer un équilibre cohérent entre les différentes composantes du mix marketing.

#### ➤ Présentation de la charte de l'entreprise

##### ➤ Nom d'entreprise

**NutriLoop** : Nous avons choisi le nom NutriLoop car il représente l'idée principale de notre projet : la valorisation des nutriments issus des eaux usées dans une logique d'économie circulaire.

Le mot **Nutri** fait référence à la nutrition des plantes, tandis que **Loop** symbolise le recyclage et la réutilisation des ressources. Ce nom reflète une entreprise innovante, écologique et tournée vers une agriculture durable.

Le vert est la couleur principale de notre identité visuelle, symbole de la nature, de l'agriculture durable et du respect de l'environnement.



Figure III-1 : Logo de l'Entreprise.

➤ **Nom du produit**

Nous avons choisi le nom **Struvex** parce qu'il est simple, moderne et facile à retenir. Il est inspiré du mot struvite, qui constitue la base de notre engrais, avec une touche moderne qui donne une image innovante. Ce nom représente un engrais écologique et durable, conçu pour améliorer la fertilité des sols tout en valorisant les ressources récupérées des eaux usées.

➤ **Produit et ses caractéristiques (Product)**

La présentation du produit doit s'inscrire dans une logique de réponse aux attentes du marché cible, en tenant compte des besoins des agriculteurs algériens, de leurs préférences d'utilisation et des tendances de fond vers une agriculture plus durable et plus souveraine.

➤ **Présentation de la collection**

Dans le souci de proposer un produit adapté aux différents modes d'exploitation, la struvite **NutriLoop** se déclinera en trois formats pensés pour chaque type d'utilisateur et chaque échelle de production. **Le grand format de 50 kg** est idéal pour les coopératives agricoles et les grossistes distributeurs, qui s'approvisionnent en volumes importants pour plusieurs exploitations. **Le format intermédiaire de 25 kg** s'adresse aux agriculteurs professionnels gérants des exploitations de superficie moyenne à grande, qui souhaitent Contrôler précisément leurs apports en engrais. Enfin, **le petit format de 5 kg** a été spécialement conçu pour les petites exploitations familiales et les jardins potagers, avec une quantité adaptée à leurs besoins et un conditionnement pratique et maniable. Cette variété de formats permet à chacun de bénéficier des propriétés agronomiques du la struvite **NutriLoop**, selon ses habitudes et son rythme d'exploitation.



**Figure III-2 :** Collection des différents formats de conditionnement.

### ➤ **Le prix (Price)**

La stratégie de prix représente l'ensemble des décisions liées à la fixation du prix de notre engrais NutriLoop en tenant compte des coûts de production, de la valeur apportée aux agriculteurs, du positionnement écologique du produit et des prix pratiqués sur le marché des fertilisants.

Le prix de notre engrais à base de struvite repose sur deux éléments essentiels :

- ✓ La comparaison avec nos concurrents présents sur le marché des engrais, afin de proposer un produit compétitif offrant un bon rapport qualité/prix.
- ✓ Notre coût de revient, auquel nous appliquons une marge bénéficiaire raisonnable afin de garantir la rentabilité du projet.

### ➤ **La communication (Promotion)**

La stratégie de communication vise à promouvoir efficacement notre marque et nos produits, en adaptant les messages aux attentes des consommateurs cibles et aux canaux les plus influents dans le milieu agricole algérien. Elle repose sur une approche multicanale privilégiant la preuve par les résultats plutôt que la publicité classique :

- Parcelles de démonstration agronomique chez des agriculteurs partenaires, le levier de conviction le plus puissant dans le milieu agricole algérien.
- Communication digitale (réseaux sociaux) avec un contenu éducatif sur les bénéfices de la struvite et des témoignages d'agriculteurs.
- Présence aux salons et foires agricoles (SIPSA Alger, journées portes ouvertes des STEPs) ;
- Panneaux d'affichage dans les zones agricoles de la Mitidja.
- Fiches techniques bilingues (arabe/français) distribuées dans les magasins d'intrants agricoles.
- Site web avec fiches techniques téléchargeables, commande en ligne à terme et services après-vente.

### ➤ **La distribution (Place)**

La stratégie de distribution adoptée par NutriLoop s'articule autour de trois circuits de distribution complémentaires, déployés progressivement selon les phases de développement de l'entreprise :

- Entreprise - Agriculteurs professionnels locaux (vente directe, Mitidja, Alger, Blida)
- Entreprise - Détaillants spécialisés et Coopératives agricoles - Agriculteurs
- Entreprise - Grossistes régionaux - Détaillants - Ensemble du territoire national - export

#### ➤ Stratégie de placement

La stratégie de placement repose principalement sur le principe du « Trade marketing » visant à optimiser la présentation du produit dans les points de vente afin d'en renforcer l'attractivité et de stimuler l'achat. Un effort particulier sera apporté à la mise en valeur du produit dans les rayons des magasins d'intrants agricoles, avec un conditionnement distinctif et une étiquette informative et attrayante valorisant l'origine locale et l'efficacité agronomique de la struvite.



**Figure III-3 : Stratégie de positionnement**

#### ➤ Analyse SWOT et Pestel :

D'après les études précédentes et les résultats obtenus, on a pu déterminer l'analyse SWOT et PESTEL de notre entreprise spécialisée dans la production d'engrais à base de struvite issue des eaux usées.

#### ✓ Analyse PESTEL :

##### Politique

- Soutien de l'État aux projets liés à l'économie circulaire et au développement durable.
- Encouragement des projets de valorisation des déchets et des eaux usées par le Ministère de l'Environnement et de l'Agriculture.

- Existence de programmes d'aide à l'investissement (ANDI, startups vertes).
- Réglementations strictes concernant le traitement et la réutilisation des eaux usées.

### **Économique**

- Augmentation du prix des engrais chimiques importés.
- Forte dépendance de l'Algérie aux importations des fertilisants.
- La struvite représente une alternative locale à coût potentiellement réduit.
- Intérêt croissant des agriculteurs pour les engrais à libération lente et plus rentables.

### **Socioculturel**

- Sensibilisation progressive à l'agriculture durable et aux produits écologiques.
- Besoin croissant des agriculteurs en solutions fertilisantes efficaces et accessibles.
- Méfiance initiale de certains consommateurs envers les produits issus des eaux usées.
- Intérêt des jeunes chercheurs et entrepreneurs pour les innovations environnementales.

### **Technologique**

- Disponibilité de techniques de précipitation et de récupération du phosphore et de l'azote.
- Présence de laboratoires d'analyse et de structures de contrôle qualité.
- Possibilité d'intégration de nouvelles technologies de traitement des eaux usées.
- Développement des méthodes d'optimisation de production de la struvite.

### **Environnemental**

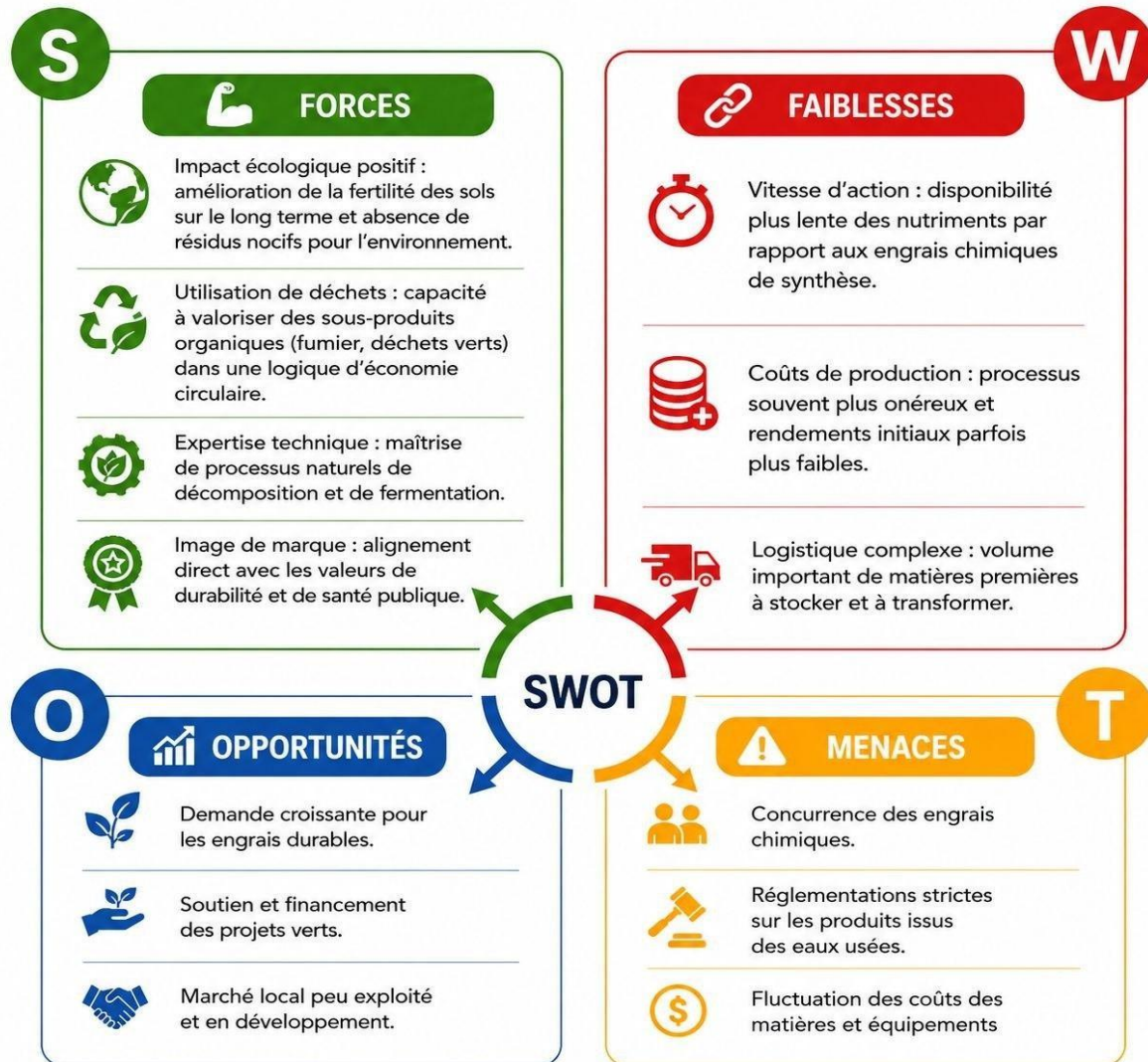
- Réduction de la pollution des eaux par récupération des nutriments.
- Valorisation des déchets liquides dans une logique d'économie circulaire.
- Diminution de l'utilisation des engrais chimiques conventionnels.
- Contribution à la protection des ressources naturelles et des sols agricoles.

### **Légal**

- Respect des normes liées aux fertilisants et à la qualité des produits agricoles.
- Réglementation sur le traitement des eaux usées et la gestion des boues.

- Contrôle des teneurs en métaux lourds et contaminants.
- Possibilité de certification des engrais écologiques selon les normes nationales.

➤ Analyse SWOT





**Quatrième axe  
Plan de production et  
d'organisation**

## IV.1 Processus de production

### Processus de fabrication

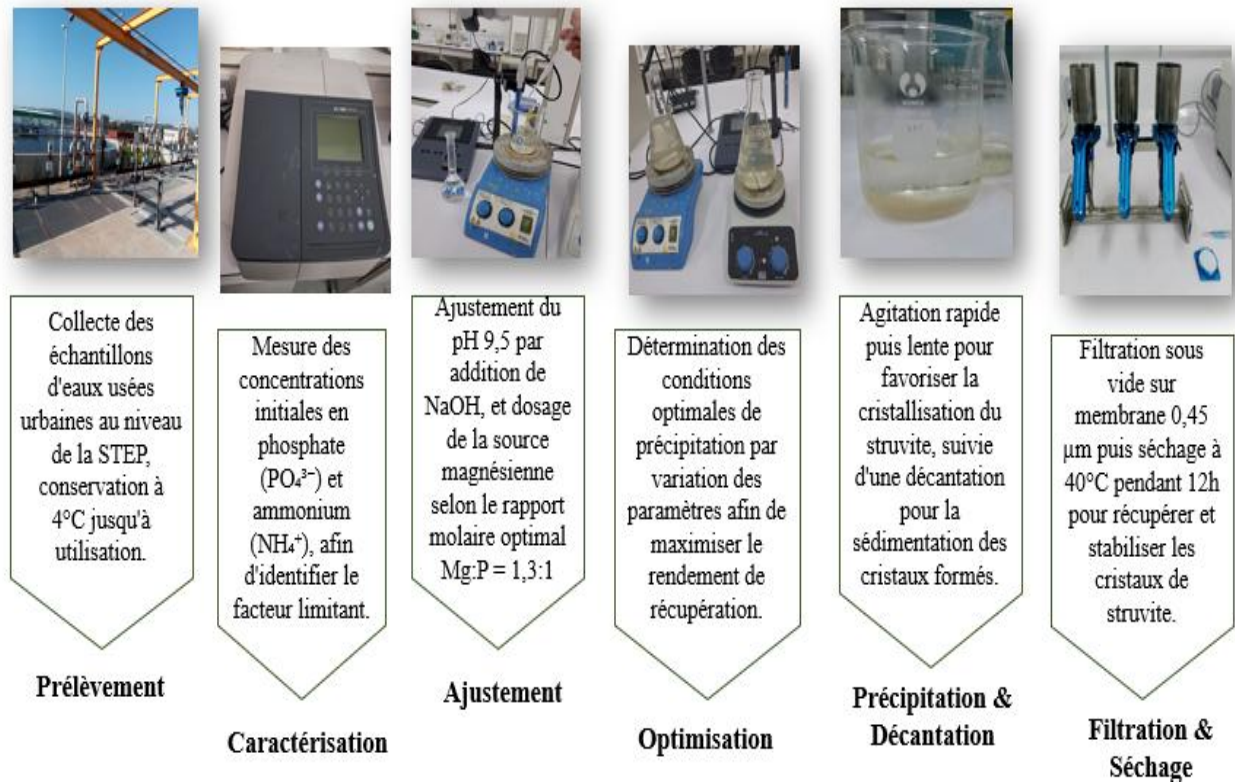


Figure IV-1 : Étapes de production de la Struvite.

## IV.2 Approvisionnement

L'approvisionnement fait référence à toutes les démarches visant à obtenir les ressources indispensables au bon fonctionnement de l'entreprise. La stratégie d'achat adoptée par notre société concerne l'acquisition de matières premières, de produits chimiques, d'équipements de laboratoire et de matériel de production. Elle s'appuie sur un tableau comparatif qui permet de choisir les fournisseurs en tenant compte de plusieurs critères tels que le prix, la qualité, les délais de livraison et les conditions de paiement.

Les fournisseurs approchés au cours de l'étude comprennent :

- **Fournisseurs de Matières premières :** Les différentes Stations d'épuration
- **Fournisseurs de l'équipement de laboratoire :** GINIDEX Algerie, LABOTECH, AIRLAB, Sigma-Aldrich Algerie, Hanna Instruments.
- **Fournisseurs de conditionnement :** ENPC, Sofiplast, Tali Emballage, SAFEM Emballages.

✓ **La politique de paiement et les délais de réception :**

Un délai de paiement de 15 jours est accordé aux clients, ce qui facilite la flexibilité commerciale et stimule des transactions régulières. En parallèle, les paiements aux fournisseurs sont réalisés dans un délai de 30 jours, conformément aux clauses négociées. Cette organisation génère un différentiel de trésorerie positif, offrant à l'entreprise une réserve de fonds de roulement suffisante pour couvrir ses dépenses courantes.

### **IV.3 Main d'œuvre**

La réussite du projet NutriLoop nécessite une main d'œuvre multidisciplinaire qualifiée pour assurer sa réussite technique, commerciale et opérationnelle. Pour la phase de démarrage, nous prévoyons la création de 18 postes d'emploi, le recrutement étant adapté aux besoins spécifiques de chaque poste. Nous recruterons davantage de professionnels compétents selon l'évolution du projet et la croissance des volumes de production.

- **Directeur Général**

Gérer l'entreprise, Prendre les décisions, Superviser les équipes, Chercher partenaires et clients, Développer la stratégie.

- **Co-Directeur Général**

Aider le directeur, Suivre les opérations quotidiennes, Coordonner les équipes, Superviser production et ventes, Remplacer le directeur en son absence.

- **Assistant administratif**

Documents, Organisation réunions, Appels et emails, Archivage, Support administratif.

- **Ingénieur agronome**

Essais terrain, Diagnostic des cultures, Formation des clients, Support technique agricole.

- **Ingénieur qualité**

Mise en place et suivi du système qualité, Contrôle de conformité des produits, Gestion documentaire qualité, Suivi réglementaire de base, Supervision des techniciens qualité.

- **Technicien qualité / laboratoire (x2)**

Prélèvements et analyses de routine, Contrôle des matières premières, Contrôle des produits finis, Enregistrement des résultats, Suivi quotidien du laboratoire.

- **Ingénieur procédés / génie industriel**

Organisation de la production, Optimisation des procédés, Amélioration de la productivité, Suivi technique des équipements.

- **Opérateur de production (x2)**

Fabrication, Mélanges, Conditionnement, Emballage, Nettoyage des équipements.

- **Technicien maintenance**

Maintenance préventive, Réparation des équipements, Installation des nouvelles machines.

- **Commercial terrain agricole (x2)**

Prospection de clients, Démonstration des produits, Suivi des agriculteurs, Développement commercial.

- **Comptable**

Comptabilité, Facturation, Gestion des salaires, Suivi budgétaire.

- **Magasinier / logisticien**

Gestion des stocks, Réception des matières premières, Préparation et expédition des commandes.

- **Ingénieur HSE**

Élaborer les procédures de sécurité, Former le personnel, Évaluer les risques professionnels, Assurer la conformité environnementale, Superviser les agents HSE, Gérer les plans d'urgence et les audits.

- **Agents HSE / Hygiène et nettoyage (x2)**

Nettoyage des locaux et équipements, Désinfection des zones de travail, Gestion des déchets., Contrôle quotidien de l'hygiène, Vérification du respect des consignes de sécurité, Assistance lors des inspections HSE.

#### IV.4 Les Principaux partenaires

La réussite du projet NutriLoop repose également sur l'implication de plusieurs partenaires clés, intervenant à différents niveaux de la chaîne de valeur. Ces partenariats institutionnels, scientifiques et commerciaux constituent un écosystème favorable au développement et à la pérennisation de l'entreprise.

- Ministère de l'agriculture, du développement rural et de la pêche.
- Ministère de l'Environnement et des Energies Renouvelables.
- Ministère du Commerce Intérieur et de la Régulation du Marché National.
- Ministère de l'industrie.
- Ministère de finance.
- Centre National du Registre de commerce.
- Office National de l'Assainissement (ONA).
- Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger (SEAAL).
- Institut National de la Recherche Agronomique d'Algerie (INRAA).
- Institut national Algérien de propriété industrielle (INAPI).
- Fonds algérien des startups (ASF).
- Les banques.
- CNAS, CASNOS.
- Incubateur et accélérateurs d'entreprises Blue Start.
- Clients : Grossiste, Agriculteurs professionnels, coopératives agricoles, détaillants en intrants agricoles.
- Fournisseurs de matières premières.
- Fournisseurs d'équipement.
- Concurrent : Importateurs de DAP, TSP.



**Cinquième axe**  
**Plan financier**

Le plan financier constitue une étape essentielle dans l'évaluation de la viabilité et du potentiel de croissance de notre startup. Il permet de traduire notre vision stratégique en données chiffrées concrètes, tout en mettant en évidence les ressources nécessaires à la réalisation de nos objectifs. Cette projection financière présente les hypothèses retenues, les besoins en financement, les prévisions de revenus ainsi que les perspectives de rentabilité. Elle vise également à démontrer la solidité du modèle économique et la capacité de l'entreprise à générer de la valeur sur le long terme. À travers cette analyse, nous souhaitons offrir une vision claire et réaliste du développement financier de notre projet.

**NB :** Les montants sont exprimés en KDA.

## V.1 Les coûts et charges

### ➤ Investissements

**Tableau V-1 : Investissements.**

| INVESTISSEMENTS                              | Montant<br>hors taxes |
|----------------------------------------------|-----------------------|
| <b>Immobilisations incorporelles</b>         | <b>250,00</b>         |
| <i>Frais d'établissement</i>                 | 250,00                |
| <i>Frais d'ouverture de compteurs</i>        |                       |
| <i>Logiciels, formations</i>                 |                       |
| <i>Dépôt marque</i>                          |                       |
| <i>Droits d'entrée</i>                       |                       |
| <i>Achat fonds de commerce ou parts</i>      |                       |
| <i>Droit au bail</i>                         |                       |
| <i>Caution ou dépôt de garantie</i>          |                       |
| <i>Frais de dossier</i>                      |                       |
| <i>Frais de notaire ou d'avocat</i>          |                       |
| <b>Immobilisations corporelles</b>           | <b>22 850,00</b>      |
| <i>Enseigne et éléments de communication</i> |                       |
| <i>Achat immobilier</i>                      |                       |
| <i>Travaux et aménagements</i>               | 4 500,00              |
| <i>Matériel</i>                              | 18 000,00             |
| <i>Matériel de bureau</i>                    | 350,00                |
| <b>Stock de matières et produits</b>         | <b>2 500,00</b>       |
| <b>Trésorerie de départ</b>                  | <b>3 000,00</b>       |
| <b>TOTAL BESOINS</b>                         | <b>28 600,00</b>      |

## ➤ Détails des amortissements

Tableau V-2 : Détails des amortissements

|                                              | Année 1         | Année 2         | Année 3         |
|----------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>Amortissements incorporels</b>            | <b>50,00</b>    | <b>50,00</b>    | <b>50,00</b>    |
| <i>Frais d'établissement</i>                 | <i>50,00</i>    | <i>50,00</i>    | <i>50,00</i>    |
| <i>Logiciels, formations</i>                 | <i>0,00</i>     | <i>0,00</i>     | <i>0,00</i>     |
| <i>Droits d'entrée</i>                       | <i>0,00</i>     | <i>0,00</i>     | <i>0,00</i>     |
| <i>Frais de dossier</i>                      | <i>0,00</i>     | <i>0,00</i>     | <i>0,00</i>     |
| <i>Frais de notaire ou d'avocat</i>          | <i>0,00</i>     | <i>0,00</i>     | <i>0,00</i>     |
| <b>Amortissements corporels</b>              | <b>4 570,00</b> | <b>4 570,00</b> | <b>4 570,00</b> |
| <i>Enseigne et éléments de communication</i> | <i>0,00</i>     | <i>0,00</i>     | <i>0,00</i>     |
| <i>Achat immobilier</i>                      | <i>0,00</i>     | <i>0,00</i>     | <i>0,00</i>     |
| <i>Travaux et aménagements</i>               | <i>900,00</i>   | <i>900,00</i>   | <i>900,00</i>   |
| <i>Matériel</i>                              | <i>3 600,00</i> | <i>3 600,00</i> | <i>3 600,00</i> |
| <i>Matériel de bureau</i>                    | <i>70,00</i>    | <i>70,00</i>    | <i>70,00</i>    |
| <b>Total amortissements</b>                  | <b>4 620,00</b> | <b>4 620,00</b> | <b>4 620,00</b> |

## ➤ Mode de financement de besoin de démarrage

Tableau V-3 : Mode de financement de besoin de démarrage

| FINANCEMENT DES INVESTISSEMENTS      |      |            | Montant<br>hors taxes |
|--------------------------------------|------|------------|-----------------------|
| <b>Apport personnel</b>              |      |            | <b>16 900,00</b>      |
| <i>Apport personnel ou familial</i>  |      |            | <i>16 900,00</i>      |
| <i>Apports en nature (en valeur)</i> |      |            | -                     |
| <b>Emprunt</b>                       | taux | durée mois | -                     |
| <i>Prêt bancaire</i>                 |      |            | -                     |
| <i>Prêt bancaire</i>                 |      |            | -                     |
|                                      |      |            | -                     |
| <b>Subvention</b>                    |      |            | <b>45 500,00</b>      |
|                                      |      |            | -                     |
| <b>Autre financement</b>             |      |            |                       |
| <b>TOTAL RESSOURCES</b>              |      |            | <b>28 600,00</b>      |

## ➤ Plan de financement sur 3 ans

Tableau V-4 : Plan de financement sur 3 ans.

|                                           | Année 1          | Année 2          | Année 3          |
|-------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| Immobilisations                           | 23 100,00        |                  |                  |
| Acquisition des stocks                    | 2 500,00         |                  |                  |
| Variation du Besoin en fonds de roulement | 828,49           | 107,70           | 168,52           |
| Remboursement d'emprunts                  | -                | -                | -                |
| <b>Total des besoins</b>                  | <b>26 428,49</b> | <b>107,70</b>    | <b>168,52</b>    |
| Apport personnel                          | 16 900,00        |                  |                  |
| Emprunts                                  | -                |                  |                  |
| Subventions                               | 45 500,00        |                  |                  |
| Autres financements                       |                  |                  |                  |
| Capacité d'auto-financement               | 12 856,67        | 16 257,86        | 21 443,54        |
| <b>Total des ressources</b>               | <b>41 456,67</b> | <b>16 257,86</b> | <b>21 443,54</b> |
| Variation de trésorerie                   | 15 028,18        | 16 150,16        | 21 275,03        |
| <b>Excédent de trésorerie</b>             | <b>15 028,18</b> | <b>31 178,33</b> | <b>52 453,36</b> |

## V.2 le chiffre d'affaires

## ➤ Chiffre d'affaires

Tableau V-5 : Chiffre d'affaires.

| Année 1 - <u>Vente de marchandises</u> |  | Nombre de jours<br>travaillés | Chiffre d'affaires<br>moyen / jour | Chiffre d'affaires<br>mensuel |
|----------------------------------------|--|-------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| Mois 1                                 |  | 15                            | 280,00                             | 4 200,00                      |
| Mois 2                                 |  | 15                            | 280,00                             | 4 200,00                      |
| Mois 3                                 |  | 15                            | 280,00                             | 4 200,00                      |
| Mois 4                                 |  | 15                            | 280,00                             | 4 200,00                      |
| Mois 5                                 |  | 15                            | 280,00                             | 4 200,00                      |
| Mois 6                                 |  | 15                            | 280,00                             | 4 200,00                      |
| Mois 7                                 |  | 15                            | 280,00                             | 4 200,00                      |
| Mois 8                                 |  | 15                            | 280,00                             | 4 200,00                      |
| Mois 9                                 |  | 15                            | 280,00                             | 4 200,00                      |
| Mois 10                                |  | 15                            | 280,00                             | 4 200,00                      |
| Mois 11                                |  | 15                            | 280,00                             | 4 200,00                      |
| Mois 12                                |  | 15                            | 280,00                             | 4 200,00                      |
| <b>TOTAL</b>                           |  |                               |                                    | <b>50 400,00</b>              |

## ➤ Le scénario optimiste et le scénario pessimiste

Tableau V-6 : Le scénario optimiste et le scénario pessimiste.

|                            |                                                                                            | <b>Scénario Réaliste</b>                                                                                | <b>Scénario pessimiste</b>                                                                             | <b>Scénario optimiste</b>                                                                               |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Produit</b>             | <b>Forma</b>                                                                               | <b>N</b>                                                                                                | <b>N-1</b>                                                                                             | <b>N+1</b>                                                                                              |
| <b>Quantité de produit</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 5 kg</li> <li>• 25 kg</li> <li>• 50 kg</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 40 sacs/j</li> <li>• 28 sacs/j</li> <li>• 10 sacs/j</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 20 sacs/j</li> <li>• 14 sacs/j</li> <li>• 5 sacs/j</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 56 sacs/j</li> <li>• 39 sacs/j</li> <li>• 14 sacs/j</li> </ul> |
| <b>Prix</b>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 5 kg</li> <li>• 25 kg</li> <li>• 50 kg</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1000 DA</li> <li>• 5000 DA</li> <li>• 10000 DA</li> </ul>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1000 DA</li> <li>• 5000 DA</li> <li>• 10000 DA</li> </ul>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1000 DA</li> <li>• 5000 DA</li> <li>• 10000 DA</li> </ul>      |
| <b>Chiffre d'affaires</b>  |                                                                                            | <b>50 400 000 DA</b>                                                                                    | <b>25 200 000 DA</b>                                                                                   | <b>70 380 000 DA</b>                                                                                    |

## V.3 Compte de résultats prévisionnel sur 3 ans

Tableau V-7 : Compte de résultats prévisionnel sur 3 ans.

|                                                        | Année 1          | Année 2          | Année 3          |
|--------------------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| <b>Produits d'exploitation</b>                         | <b>50,400.00</b> | <b>56,952.00</b> | <b>67,203.36</b> |
| <i>Chiffre d'affaires HT</i>                           | <i>50,400.00</i> | <i>56,952.00</i> | <i>67,203.36</i> |
| <i>Chiffre d'affaires HT autres services</i>           | -                | -                | -                |
| <b>Charges d'exploitation</b>                          | <b>15,120.00</b> | <b>17,085.60</b> | <b>20,161.01</b> |
| <i>Achats consommés</i>                                | <i>15,120.00</i> | <i>17,085.60</i> | <i>20,161.01</i> |
| <b>Marge brute</b>                                     | <b>35,280.00</b> | <b>39,866.40</b> | <b>47,042.35</b> |
| <b>Charges externes</b>                                | <b>4,545.00</b>  | <b>5,130.00</b>  | <b>5,625.00</b>  |
| <i>Assurances</i>                                      | <i>600.00</i>    | <i>650.00</i>    | <i>700.00</i>    |
| <i>Téléphone, internet</i>                             | <i>45.00</i>     | <i>50.00</i>     | <i>55.00</i>     |
| <i>Autres abonnements</i>                              | -                | -                | -                |
| <i>Carburant, transports</i>                           | <i>300.00</i>    | <i>360.00</i>    | <i>420.00</i>    |
| <i>Frais de déplacement et hébergement</i>             | -                | -                | -                |
| <i>Eau, électricité, gaz</i>                           | <i>800.00</i>    | <i>900.00</i>    | <i>1,000.00</i>  |
| <i>Mutuelle</i>                                        | -                | -                | -                |
| <i>Fournitures diverses</i>                            | <i>100.00</i>    | <i>120.00</i>    | <i>150.00</i>    |
| <i>Entretien matériel et vêtements</i>                 | <i>200.00</i>    | <i>250.00</i>    | <i>300.00</i>    |
| <i>Nettoyage des locaux</i>                            | -                | -                | -                |
| <i>Budget publicité et communication</i>               | -                | -                | -                |
| <i>Loyer et charges locatives</i>                      | <i>2,500.00</i>  | <i>2,800.00</i>  | <i>3,000.00</i>  |
| <i>Expert comptable, avocats</i>                       | -                | -                | -                |
|                                                        | -                | -                | -                |
|                                                        | -                | -                | -                |
|                                                        | -                | -                | -                |
| <b>Valeur ajoutée</b>                                  | <b>30,735.00</b> | <b>34,736.40</b> | <b>41,417.35</b> |
| <b>Impôts et taxes</b>                                 | -                | -                | -                |
| <b>Salaires employés</b>                               | <b>7,000.00</b>  | <b>7,000.00</b>  | <b>7,210.00</b>  |
| Charges sociales employés                              | 5,040.00         | 5,040.00         | 5,191.20         |
| <b>Prélèvement dirigeant(s)</b>                        | <b>3,024.00</b>  | <b>3,024.00</b>  | <b>3,175.00</b>  |
| Charges sociales dirigeant(s)                          | 1,360.80         | 1,360.80         | 1,428.75         |
| <b>Excédent brut d'exploitation</b>                    | <b>14,310.20</b> | <b>18,311.60</b> | <b>24,412.40</b> |
| Frais bancaires, charges financières                   | -                | -                | -                |
| Dotations aux amortissements                           | 4,620.00         | 4,620.00         | 4,620.00         |
| <b>Résultat avant impôts</b>                           | <b>9,690.20</b>  | <b>13,691.60</b> | <b>19,792.40</b> |
| Impôt sur les sociétés                                 | 1,453.53         | 2,053.74         | 2,968.86         |
| <b>Résultat net comptable (résultat de l'exercice)</b> | <b>8,236.67</b>  | <b>11,637.86</b> | <b>16,823.54</b> |

## ➤ Solde intermédiaire de gestion :

Tableau V-8 : Solde intermédiaire de gestion.

|                                     | Année 1          | %          | Année 2          | %          | Année 3          | %          |
|-------------------------------------|------------------|------------|------------------|------------|------------------|------------|
| <b>Chiffre d'affaires</b>           | 50 400,00        | 100%       | 56 952,00        | 100%       | 67 203,36        | 100%       |
| <b>Ventes + autres services</b>     | 50 400,00        | 100%       | 56 952,00        | 100%       | 67 203,36        | 100%       |
| <b>Achats consommés</b>             | 15 120,00        | 30%        | 17 085,60        | 30%        | 20 161,01        | 30%        |
| <b>Marge globale</b>                | <b>35 280,00</b> | <b>70%</b> | <b>39 866,40</b> | <b>70%</b> | <b>47 042,35</b> | <b>70%</b> |
| <b>Charges externes</b>             | 4 545,00         | 9%         | 5 130,00         | 9%         | 5 625,00         | 8%         |
| <b>Valeur ajoutée</b>               | <b>30 735,00</b> | <b>61%</b> | <b>34 736,40</b> | <b>61%</b> | <b>41 417,35</b> | <b>62%</b> |
| <b>Impôts et taxes</b>              | -                | 0%         | -                | 0%         | -                | 0%         |
| <b>Charges de personnel</b>         | 16 424,80        | 33%        | 16 424,80        | 29%        | 17 004,95        | 25%        |
| <b>Excédent brut d'exploitation</b> | <b>14 310,20</b> | <b>28%</b> | <b>18 311,60</b> | <b>32%</b> | <b>24 412,40</b> | <b>36%</b> |
| <b>Dotation aux amortissements</b>  | 4 620,00         | 9%         | 4 620,00         | 8%         | 4 620,00         | 7%         |
| <b>Résultat d'exploitation</b>      | <b>9 690,20</b>  | <b>19%</b> | <b>13 691,60</b> | <b>24%</b> | <b>19 792,40</b> | <b>29%</b> |
| <b>Charges financières</b>          | -                | 0%         | -                | 0%         | -                | 0%         |
| <b>Résultat financier</b>           | -                | 0%         | -                | 0%         | -                | 0%         |
| <b>Résultat courant</b>             | <b>9 690,20</b>  | <b>19%</b> | <b>13 691,60</b> | <b>24%</b> | <b>19 792,40</b> | <b>29%</b> |
| <b>Résultat de l'exercice</b>       | <b>8 236,67</b>  | <b>16%</b> | <b>11 637,86</b> | <b>20%</b> | <b>16 823,54</b> | <b>25%</b> |
| <b>Capacité d'autofinancement</b>   | 12 856,67        | 26%        | 16 257,86        | 29%        | 21 443,54        | 32%        |

## ➤ Seuil de rentabilité :

Tableau V-9 : Seuil de rentabilité

|                                                        | Année 1          | Année 2          | Année 3          |
|--------------------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| <b>Ventes + Autres services</b>                        | <b>50 400,00</b> | <b>56 952,00</b> | <b>67 203,36</b> |
| Achats consommés                                       | 15 120,00        | 17 085,60        | 20 161,01        |
| Total des coûts variables                              | 15 120,00        | 17 085,60        | 20 161,01        |
| Marge sur coûts variables                              | 35 280,00        | 39 866,40        | 47 042,35        |
| <b>Taux de marge sur coûts variables</b>               | <b>70%</b>       | <b>70%</b>       | <b>70%</b>       |
| Coûts fixes                                            | 25 589,80        | 26 174,80        | 27 249,95        |
| <b>Total des charges</b>                               | <b>40 709,80</b> | <b>43 260,40</b> | <b>47 410,96</b> |
| Résultat courant avant impôts                          | 9 690,20         | 13 691,60        | 19 792,40        |
| <b>Seuil de rentabilité (chiffre d'affaires)</b>       | <b>36 556,86</b> | <b>37 392,57</b> | <b>38 928,50</b> |
| Excédent / insuffisance                                | 13 843,14        | 19 559,43        | 28 274,86        |
| <i>Point mort en chiffre d'affaires par jour ouvré</i> | <i>146,23</i>    | <i>149,57</i>    | <i>155,71</i>    |

## ➤ Besoin en fonds de roulement :

Tableau V-10 : Besoin en fonds de roulement.

*Analyse clients / fournisseurs :*

|                                     | délai jours | Année 1       | Année 2       | Année 3         |
|-------------------------------------|-------------|---------------|---------------|-----------------|
| <b>Besoins</b>                      |             |               |               |                 |
| Volume crédit client HT             | 15          | 2 071,23      | 2 340,49      | 2 761,78        |
| <b>Ressources</b>                   |             |               |               |                 |
| Volume dettes fournisseurs HT       | 30          | 1 242,74      | 1 404,30      | 1 657,07        |
| <b>Besoin en fonds de roulement</b> |             | <b>828,49</b> | <b>936,20</b> | <b>1 104,71</b> |

## V.4 Le Plan de trésorerie

## ➤ Budget prévisionnel de trésorerie

Tableau V-11 : Budget prévisionnel de trésorerie.

|                                      | Mois 1           | Mois 2          | Mois 3          | Mois 4          | Mois 5          |
|--------------------------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Apport personnel                     | 16 900,00        |                 |                 |                 |                 |
| Emprunts                             | -                |                 |                 |                 |                 |
| Subventions                          | 45 500,00        |                 |                 |                 |                 |
| Autres financements                  |                  |                 |                 |                 |                 |
| Ventes                               | 4 200,00         | 4 200,00        | 4 200,00        | 4 200,00        | 4 200,00        |
| Ventes autres services               | -                | -               | -               | -               | -               |
| <b>Chiffre d'affaires (total)</b>    | <b>4 200,00</b>  | <b>4 200,00</b> | <b>4 200,00</b> | <b>4 200,00</b> | <b>4 200,00</b> |
| Immobilisations incorporelles        | 250,00           |                 |                 |                 |                 |
| Immobilisations corporelles          | 22 850,00        |                 |                 |                 |                 |
| <b>Immobilisations (total)</b>       | <b>23 100,00</b> |                 |                 |                 |                 |
| Acquisition stocks                   | 2 500,00         |                 |                 |                 |                 |
| Échéances emprunt                    | -                | -               | -               | -               | -               |
| Achats de marchandises               | 1 260,00         | 1 260,00        | 1 260,00        | 1 260,00        | 1 260,00        |
| Charges externes                     | 378,75           | 378,75          | 378,75          | 378,75          | 378,75          |
| Impôts et taxes                      | -                | -               | -               | -               | -               |
| Salaires employés                    | 583,33           | 583,33          | 583,33          | 583,33          | 583,33          |
| Charges sociales employés            | 420,00           | 420,00          | 420,00          | 420,00          | 420,00          |
| Prélèvement dirigeant(s)             | 252,00           | 252,00          | 252,00          | 252,00          | 252,00          |
| Charges sociales dirigeant(s)        | 113,40           | 113,40          | 113,40          | 113,40          | 113,40          |
| <b>Total charges de personnel</b>    | <b>1 368,73</b>  | <b>1 368,73</b> | <b>1 368,73</b> | <b>1 368,73</b> | <b>1 368,73</b> |
| Frais bancaires, charges financières | -                | -               | -               | -               | -               |
| <b>Total des décaissements</b>       | <b>28 607,48</b> | <b>3 007,48</b> | <b>3 007,48</b> | <b>3 007,48</b> | <b>3 007,48</b> |
| <b>Total des encaissements</b>       | <b>32 800,00</b> | <b>4 200,00</b> | <b>4 200,00</b> | <b>4 200,00</b> | <b>4 200,00</b> |
| Solde précédent                      | -                | 4 192,52        | 5 385,03        | 6 577,55        | 7 770,07        |
| <b>Solde du mois</b>                 | <b>4 192,52</b>  | <b>1 192,52</b> | <b>1 192,52</b> | <b>1 192,52</b> | <b>1 192,52</b> |
| <b>Solde de trésorerie (cumul)</b>   | <b>4 192,52</b>  | <b>5 385,03</b> | <b>6 577,55</b> | <b>7 770,07</b> | <b>8 962,58</b> |

SUITE →

| Mois 6    | Mois 7    | Mois 8    | Mois 9    | Mois 10   | Mois 11   | Mois 12   | TOTAL     |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|           |           |           |           |           |           |           | 16 900,00 |
|           |           |           |           |           |           |           | -         |
|           |           |           |           |           |           |           | 45 500,00 |
|           |           |           |           |           |           |           | -         |
| 4 200,00  | 4 200,00  | 4 200,00  | 4 200,00  | 4 200,00  | 4 200,00  | 4 200,00  | 50 400,00 |
| -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         |
| 4 200,00  | 4 200,00  | 4 200,00  | 4 200,00  | 4 200,00  | 4 200,00  | 4 200,00  | 50 400,00 |
|           |           |           |           |           |           |           | 250,00    |
|           |           |           |           |           |           |           | 22 850,00 |
|           |           |           |           |           |           |           | 23 100,00 |
|           |           |           |           |           |           |           | 2 500,00  |
| -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         |
| 1 260,00  | 1 260,00  | 1 260,00  | 1 260,00  | 1 260,00  | 1 260,00  | 1 260,00  | 15 120,00 |
| 378,75    | 378,75    | 378,75    | 378,75    | 378,75    | 378,75    | 378,75    | 4 545,00  |
| -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         |
| 583,33    | 583,33    | 583,33    | 583,33    | 583,33    | 583,33    | 583,33    | 7 000,00  |
| 420,00    | 420,00    | 420,00    | 420,00    | 420,00    | 420,00    | 420,00    | 5 040,00  |
| 252,00    | 252,00    | 252,00    | 252,00    | 252,00    | 252,00    | 252,00    | 3 024,00  |
| 113,40    | 113,40    | 113,40    | 113,40    | 113,40    | 113,40    | 113,40    | 1 360,80  |
| 1 368,73  | 1 368,73  | 1 368,73  | 1 368,73  | 1 368,73  | 1 368,73  | 1 368,73  | 16 424,80 |
| -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         | -         |
| 3 007,48  | 3 007,48  | 3 007,48  | 3 007,48  | 3 007,48  | 3 007,48  | 3 007,48  | 61 689,80 |
| 4 200,00  | 4 200,00  | 4 200,00  | 4 200,00  | 4 200,00  | 4 200,00  | 4 200,00  | 79 000,00 |
| 8 962,58  | 10 155,10 | 11 347,62 | 12 540,13 | 13 732,65 | 14 925,17 | 16 117,68 |           |
| 1 192,52  | 1 192,52  | 1 192,52  | 1 192,52  | 1 192,52  | 1 192,52  | 1 192,52  |           |
| 10 155,10 | 11 347,62 | 12 540,13 | 13 732,65 | 14 925,17 | 16 117,68 | 17 310,20 |           |



**Sixième Axe**  
**Prototype expérimental**

## Réalisation du prototype de récupération de la struvite

### VI.1 présentation du produit obtenu

#### ➤ Définition de la struvite

La struvite est un minéral cristallin naturel constitué de phosphate d'ammonium et de magnésium hexahydraté, de formule chimique  $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Elle se forme par précipitation lorsque les ions magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) et phosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) sont présents dans des proportions adéquates et dans des conditions favorables de pH. Dans le cadre de cette étude, la struvite a été produite à partir d'effluents de station d'épuration afin de récupérer le phosphore contenu dans les eaux usées et de le valoriser sous forme d'un engrais à forte valeur ajoutée.

La composition de ce minéral lui confère une richesse en éléments nutritifs essentiels pour la croissance des plantes.



**Figure VI-1 : Produit obtenu (Struvite)**

#### ➤ Utilité de la struvite

La struvite est principalement utilisée comme engrais à libération lente. Elle fournit progressivement aux plantes trois nutriments essentiels :

- Le phosphore (P) : indispensable au développement racinaire et à la floraison.
- L'azote (N) : nécessaire à la croissance végétative.
- Le magnésium (Mg) : élément essentiel à la photosynthèse.

#### ➤ Avantage de la struvite

L'utilisation de la struvite présente plusieurs avantages :

##### ✓ Avantages agronomiques

- Libération progressive des nutriments.
- Réduction des besoins en fertilisation répétée.
- Amélioration de l'efficacité de l'utilisation du phosphore par les plantes.
- Apport simultané d'azote, de phosphore et de magnésium à des proportions satisfaisantes.

✓ **Avantages environnementaux**

- Valorisation des eaux usées et des boues de STEP.
- Réduction des rejets de phosphore responsables de l'eutrophisation des milieux aquatiques.
- Contribution à l'économie circulaire par le recyclage des nutriments.
- Diminution de la dépendance aux ressources minières de phosphate.

✓ **Avantages économiques**

- Production d'un fertilisant à partir de déchets.
- Réduction des coûts liés au traitement des eaux usées.
- Création d'une valeur ajoutée à partir d'une ressource récupérée.

## **VI.2 les étapes de réalisation**

### ➤ **Présentation de la station d'épuration**

La station d'épuration des eaux usées de Boufarik est mise en service en 2019 ; elle est conçue pour épurer la quantité de 375 000 Eq.H soit un volume d'eaux usées à traiter de 60 000 m<sup>3</sup>/j à l'horizon 2030, cette station est de type boues activées à moyenne charge. Et de débit moyenne journalier de 60000 m<sup>3</sup>/j

Cet ouvrage permettra d'acheminer l'ensemble des rejets des sept communes de la wilaya de Blida vers cette station d'épuration et pour éliminer tous les émissaires naturels par la collecte et le raccordement de tous les rejets des eaux usées des agglomérations des communes de Boufarik, Ben khellil, Soumaa, Guerrouaou, Beni Tamou, Oued Alleug et Bouinane.

Elle est située à Ben Chaabane, chef- lieu de la commune de Ben Khelil

### ➤ **Prélèvement des échantillons**

Les échantillons ont été prélevés au niveau de **l'épaississeur des boues** de la station d'épuration de BOUFARIK dans des bidons en polyéthylène préalablement rincés à l'eau distillée. Les prélèvements ont été effectués manuellement puis transportés dans une glacière au laboratoire dans les plus brefs délais afin de limiter toute modification de leur composition physicochimique.



**Figure VI-2 : le point de prélèvement "Epaississeur"**

### ➤ Caractérisation

Avant de procéder aux essais de précipitation, une caractérisation physico-chimique de l'échantillon prélevé au niveau de l'épaisseur a été réalisée, afin de déterminer les concentrations initiales en phosphate et en ammonium, paramètres clés conditionnant le potentiel de récupération sous forme de struvite.

L'analyse du phosphate a été réalisée par méthode colorimétrique par spectrophotométrie, et a révélé une concentration de 48,16 mg/L. Cette valeur confirme la richesse de l'échantillon en phosphate, condition favorable à l'atteinte du seuil de sursaturation nécessaire à la précipitation de la struvite.

Concernant l'ammonium, la concentration a été estimée à environ 80 mg/L, également par dosage colorimétrique. Cette teneur, nettement supérieure à celle généralement observée dans les eaux usées brutes, traduit l'effet de concentration propre à l'épaisseur, et constitue un apport azoté suffisant pour la formation du minéral  $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  selon la stœchiométrie 1 : 1 : 1 ( $\text{NH}_4$  : Mg :  $\text{PO}_4$ ).

Ces résultats confirment la pertinence du choix de l'épaisseur comme point de prélèvement, et permettent de définir les conditions opératoires optimales pour l'étape d'ajustement.

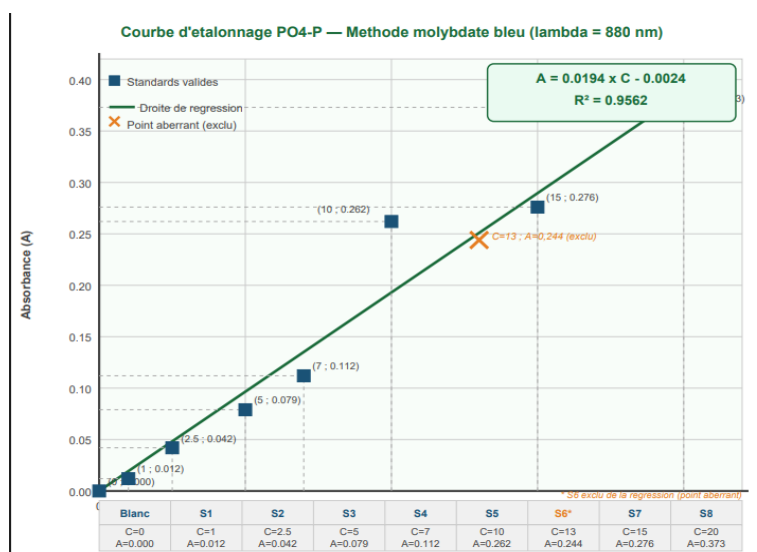


Figure VI-3 : Courbe d'étalonnage  $\text{PO}_4^{3-}$  — Méthode molybdate bleu

### ➤ Ajustement des paramètres opératoires

L'étape d'ajustement vise à déterminer les conditions optimales de pH et de rapport molaire Mg:P permettant de maximiser le rendement de précipitation de la struvite. Pour chaque essai, l'agitation a été conduite selon le même protocole : 30 minutes d'agitation rapide suivies de 10 minutes d'agitation lente, favorisant respectivement la nucléation et la croissance des cristaux. (Le Corre et al., 2009).

✓ **Test de pH**

Afin d'évaluer l'effet du pH sur le rendement de précipitation de la struvite, plusieurs essais ont été réalisés à différents niveaux de pH. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau VI-1.

**Tableau VI-1 : Influence du pH sur le rendement de précipitation de la struvite**

|               | Test 1 | Test 2 | Test 3 |
|---------------|--------|--------|--------|
| pH            | 8.5    | 9      | 9.5    |
| Rendement (%) | 74     | 79     | 82     |

Les résultats montrent une augmentation progressive du rendement avec l'élévation du pH, atteignant un maximum de 82 % à pH 9,5. Cette tendance s'explique par le fait qu'un pH alcalin favorise la déprotonation de l'ion ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) et la formation de l'ion phosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), augmentant ainsi le produit ionique et favorisant la sursaturation nécessaire à la précipitation de la struvite. Le pH 9,5 a donc été retenu comme pH optimal pour la suite des essais. (Le Corre et al., 2009).

✓ **Test de rapport molaire Mg:P**

Après avoir déterminé le pH optimal, l'effet du rapport molaire Mg:P sur le rendement de précipitation a été étudié. Les résultats sont présentés dans le tableau VI-2.

**Tableau VI-2 : Influence du rapport molaire Mg:P sur le rendement de précipitation de la struvite**

|               | Test 1 | Test 2 | Test 3 |
|---------------|--------|--------|--------|
| Mg:P          | 1,1 :1 | 1,2 :1 | 1,3 :1 |
| Rendement (%) | 82     | 85     | 88     |

Les résultats indiquent une amélioration continue du rendement avec l'augmentation de l'apport en magnésium, atteignant 88 % pour un rapport de 1,3 :1. Cet excès de magnésium par rapport à la stoechiométrie théorique (1 :1 :1) favorise le déplacement de l'équilibre de précipitation vers la formation de struvite, en compensant la présence d'autres ions compétiteurs ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ) susceptibles de consommer une partie du phosphate sous d'autres formes minérales. (Liu, X., et al. 2021)

✓ **Conclusion de l'ajustement :**

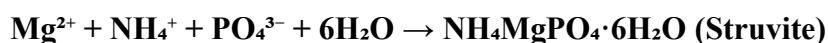
Les conditions optimales retenues pour l'étape de précipitation sont un **pH de 9,5** et un **rapport molaire Mg:P de 1,3 :1**, correspondant à un rendement de récupération de **88 %**.

➤ **Précipitation**

Une fois les conditions optimales déterminées (pH = 9,5 ; rapport molaire Mg:P = 1,3 :1), l'étape

de précipitation proprement dite a été conduite sur l'échantillon prélevé au niveau de l'épaississeur. Le pH de l'effluent a été ajusté à la valeur cible par ajout progressif de soude (NaOH), sous agitation continue afin d'assurer une homogénéisation rapide et d'éviter les variations locales de pH susceptibles de favoriser la formation de précipités parasites (carbonate de calcium, phosphates de calcium amorphes). Le magnésium a été apporté sous forme de chlorure de magnésium ( $\text{MgCl}_2$ ), choisi pour sa forte solubilité et l'absence d'interférence avec les autres espèces ioniques présentes dans le milieu.

Le mélange a ensuite été soumis à une agitation rapide pendant 30 minutes, favorisant la nucléation homogène des cristaux de struvite par dispersion uniforme des réactifs, suivie d'une agitation lente de 10 minutes, permettant la croissance des cristaux sans les fragmenter. La réaction de précipitation peut être décrite par l'équation suivante :



Cette réaction est gouvernée par le produit de solubilité ( $K_{sp}$ ) de la struvite ; lorsque le produit ionique  $[\text{Mg}^{2+}] [\text{NH}_4^+] [\text{PO}_4^{3-}]$  dépasse le  $K_{sp}$ , le milieu devient sursaturé et la précipitation se déclenche spontanément (Le Corre et al., 2009).



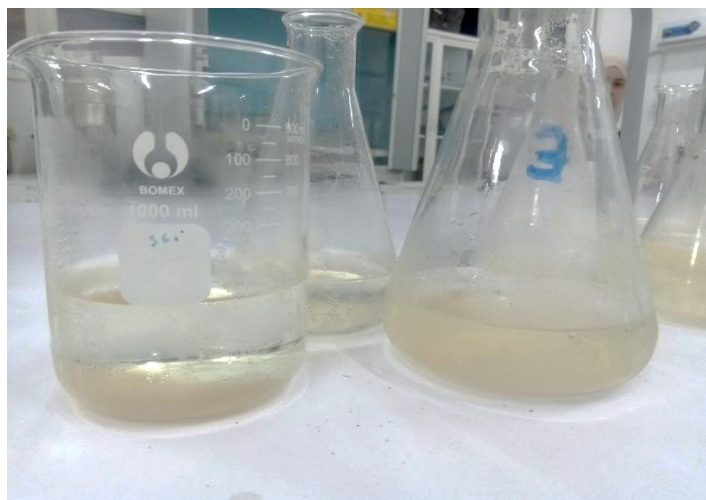
**Figure VI-4 :** Étape de précipitation de la struvite sous agitation magnétique

#### ➤ Décantation

À l'issue de la phase de précipitation, le mélange a été laissé au repos pendant une nuit, à température ambiante et sans agitation. Cette étape permet aux cristaux de struvite formés, plus denses que la phase liquide, de sédimenter progressivement par gravité et de se séparer du surnageant.

La décantation statique présente l'avantage de limiter la re-dissolution partielle des cristaux et de favoriser leur maturation, contribuant ainsi à l'obtention de particules de taille plus homogène. Le surnageant clarifié, appauvri en phosphate et en ammonium, peut alors être évacué ou réintégré

dans la filière de traitement, tandis que le culot constitué de Struvite est récupéré pour les étapes suivantes.



**Figure VI-5 : étape de décantation statique des cristaux de la Struvite**

#### ➤ Filtration

Le précipité obtenu après décantation a été récupéré par filtration sous vide, à l'aide de membranes Millipore montées sur un système de filtration relié à une pompe à vide. Cette technique permet une séparation efficace entre la phase solide (cristaux de Struvite) et la phase liquide résiduelle, tout en minimisant les pertes de matière. La filtration sous vide accélère le processus par rapport à une filtration gravitaire simple, et limite le temps de contact entre le précipité et la solution, réduisant ainsi les risques de dissolution partielle des cristaux formés. Le gâteau de filtration obtenu, encore humide, est ensuite récupéré sur la membrane pour l'étape de séchage.



**Figure VI-6 : Dispositif de filtration sous vide**

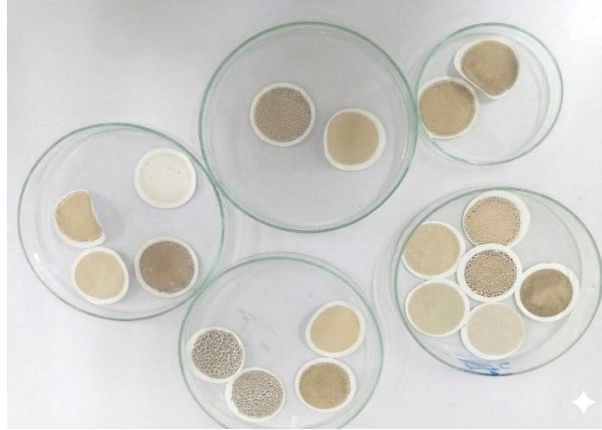


**Figure VI-7 : Précipité de Struvite humide retenu sur la membrane filtrante**

#### ➤ Séchage

Le précipité récupéré a été séché à l'étuve, à une température de **40°C pendant 12 heures**. Cette

température modérée a été choisie afin d'éliminer l'humidité résiduelle sans provoquer de décomposition thermique de la Struvite, celle-ci pouvant perdre ses molécules d'eau de cristallisation (déshydratation) à des températures plus élevées, ce qui altérerait sa structure cristalline caractéristique.



**Figure VI-8 : Précipité de struvite séché**

#### ➤ Grattage

Une fois le séchage achevé, le produit solide formé sur la membrane filtrante a été récupéré par grattage mécanique à l'aide d'une spatule. Cette opération permet de détacher complètement le précipité séché du support de filtration, tout en évitant toute contamination du produit par des résidus étrangers.

Le produit obtenu se présente sous la forme d'une poudre ou de petits agrégats cristallins.



**Figure VI-9 : Récupération du précipité de Struvite**

#### ➤ Stockage

Le produit final (struvite récupérée) a été conditionné dans des flacons/sachets hermétiques, à l'abri de l'humidité et de la lumière, et conservé à température ambiante jusqu'à la réalisation des analyses de caractérisation suivantes :

- Diffraction par rayons X (DRX).

- Microscopie Electronique à Balayage (MEB).
- Spectroscopie InfraRouge a Transformée de Fourier (FTIR)
- Analyse des métaux lourds (Hg, Ni, Cr, Pb, Cd, As)

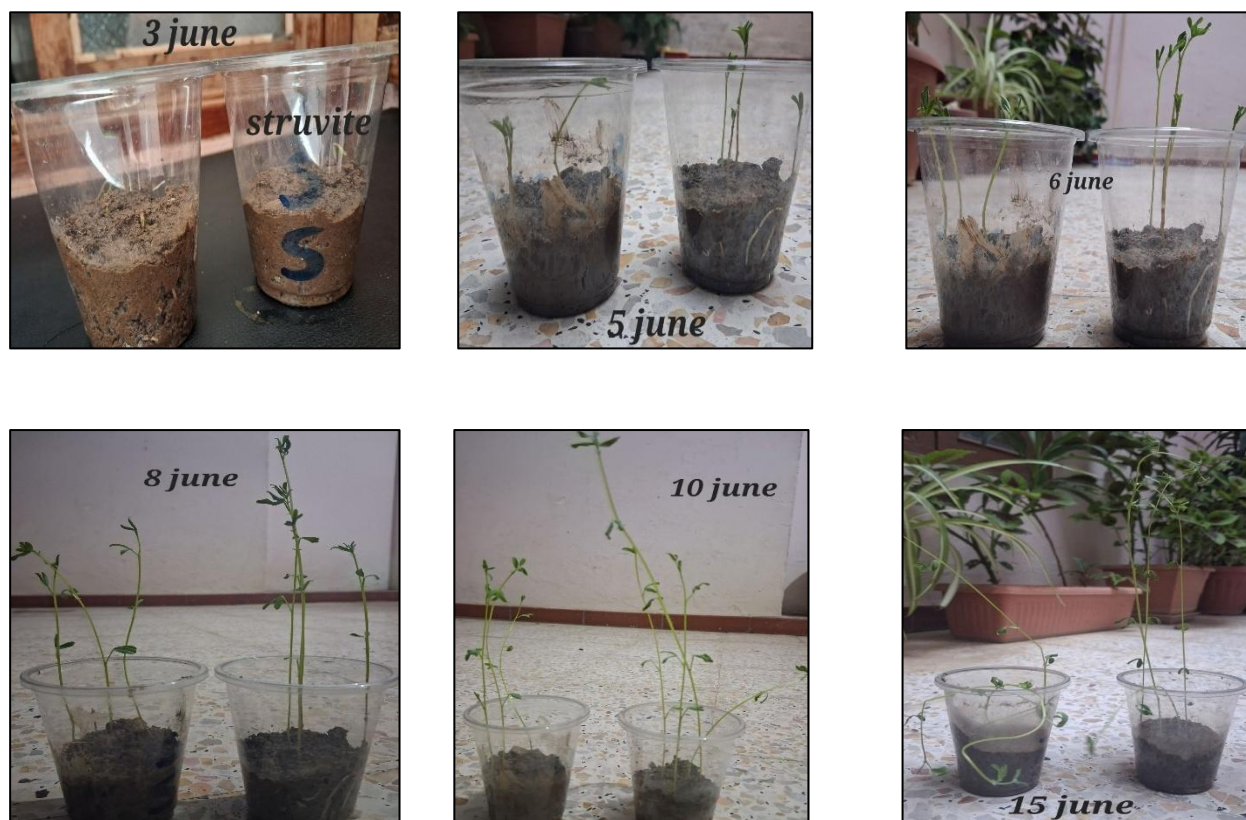
Ces conditions de stockage visent à prévenir toute altération de la composition chimique ou de la structure cristalline du produit avant son analyse finale, garantissant ainsi la fiabilité des résultats de caractérisation.



**Figure VI-10 : Struvite obtenue**

### **VI.3 Valorisation Agricole**

Afin d'évaluer le potentiel fertilisant de la Struvite récupérée, un essai de croissance comparatif a été mené sur des graines de lentilles, cultivées dans des gobelets contenant 100 g de sol, l'un servant de témoin (sol seul) et l'autre enrichi avec environ 2 mg de struvite incorporée au sol. Les deux essais ont été menés dans les mêmes conditions (température ambiante, exposition lumineuse, fréquence d'arrosage) sur une période de suivi de 12 jours, du 3 au 15 juin.



**Figure VI-11 :** Comparaison de la croissance des lentilles entre le témoin et la Struvite.

L'essai a montré que les plantules cultivées dans un sol enrichi en Struvite présentaient une germination plus rapide et une croissance végétative plus importante que celles du témoin, avec des tiges plus hautes, un port plus dressé et davantage de feuilles. Ces résultats préliminaires suggèrent que la Struvite, en libérant progressivement le phosphore et l'azote qu'elle contient, constitue une source nutritive assimilable par la plante, favorisant sa croissance végétative.

Bien que cet essai reste qualitatif et limité par la taille réduite de l'échantillon, il apporte une première validation visuelle du potentiel agronomique de la Struvite issue du traitement des eaux usées, et constitue une base encourageante pour des essais futurs à plus grande échelle, incluant des répétitions statistiquement représentatives ainsi que des mesures quantitatives.

## **Conclusion générale**

## Conclusion

### Conclusion générale

Ce travail a permis de démontrer la faisabilité technique et le potentiel entrepreneurial de la récupération du phosphore, de l'azote et du magnésium contenus dans les eaux usées urbaines, sous forme de Struvite. Cette démarche s'inscrit dans une double exigence : répondre à la dépendance structurelle de l'agriculture algérienne aux engrais phosphatés importés, et proposer une alternative durable fondée sur les principes de l'économie circulaire.

Sur le plan scientifique, le protocole expérimental mis en œuvre, depuis le prélèvement au niveau de l'épaisseuse jusqu'au séchage du précipité, a permis d'identifier les conditions optimales de précipitation : un pH de 9,5 et un rapport molaire Mg:P de 1,3:1, pour un rendement de récupération du phosphore de 88 %. Un essai préliminaire de valorisation agronomique sur graines de lentilles a confirmé l'effet bénéfique de la struvite sur la germination et la croissance végétative, apportant une première validation du potentiel fertilisant du produit.

Cette base scientifique a été un fondement pour la création de NutriLoop, une entreprise qui se consacre au développement de Struvex, un engrais écologique à libération lente destiné à la vente sur le marché algérien. La stratégie commerciale envisagée, fondée sur plusieurs formats de conditionnement (5, 25 et 50 kg) et sur une distribution progressive, de la vente directe vers les circuits de détaillants et de grossistes, privilégie la démonstration agronomique sur le terrain à la publicité classique. Le calcul des coûts de production, comparé aux prix des engrais concurrents, a permis de définir un positionnement tarifaire à la fois accessible aux agriculteurs et viable pour l'entreprise.

Au-delà de ses résultats techniques et économiques, ce projet illustre la possibilité de transformer une contrainte environnementale, le traitement des eaux usées, en une ressource agronomique valorisable, contribuant ainsi à la sécurité alimentaire et à la souveraineté agricole du pays. Les perspectives ouvertes par le biais de ce travail concernent principalement le passage à plus grande échelle, à travers des essais reproductibles statistiquement représentatifs et des analyses de caractérisation complémentaires (DRX, MEB, FTIR), afin de consolider la validation scientifique du produit avant son déploiement commercial.

| Partenaires clés                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Activités clés                                                                                                                                                                 | Propositions de valeur                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Relations clients                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Segments de marché                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>-Ministère de l'agriculture</li> <li>-Ministère de l'Environnement</li> <li>-Ministère du Commerce</li> <li>-Ministère de l'industrie.</li> <li>-Ministère de finance.</li> <li>-CNRC</li> <li>-Office National de l'Assainissement (ONA).</li> <li>-Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger (SEAL).</li> <li>-INRAA.</li> <li>-INAPI / ASF</li> <li>-Les banques.</li> <li>-CNAS, CASNOS.</li> <li>-Incubateur universitaire.</li> <li>-Fournisseurs de matières premières et d'équipement</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Production des engrais</li> <li>Contrôle qualité</li> <li>Vente et distribution</li> <li>Démonstrations agronomiques terrain</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Engrais NPMg libération lente</li> <li>-Issu de l'économie circulaire</li> <li>-Alternative locale aux phosphates importés (DAP, TSP, MAP)</li> <li>-Prix stable, indépendant du marché mondial</li> <li>-Triple action : P + N + Mg en un seul intrant</li> <li>-Facile à stocker, transporter</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Démonstrations agronomiques chez agriculteurs partenaires</li> <li>-Fiches techniques bilingues (arabe/français)</li> <li>-Présence salons agricoles (SIPSA, journées STEP)</li> <li>-Réseaux sociaux &amp; contenus éducatifs</li> <li>-Service après-vente et suivi des cultures</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Agriculteurs professionnels</li> <li>-Coopératives agricoles (achats groupés, gros volumes)</li> <li>-Détailants intrants agricoles (diversification gamme)</li> <li>-Petits exploitants &amp; jardiniers amateurs (format 5 kg)</li> </ul> |
| <b>Ressources clés</b><br>Ressource matérielles:<br><ul style="list-style-type: none"> <li>-Infrastructure</li> <li>-Equipement</li> </ul> Ressource humains:<br><ul style="list-style-type: none"> <li>-Savoir-faire</li> </ul> Ressource financière                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Canaux</b><br><ul style="list-style-type: none"> <li>-vente directe</li> <li>-détailants spécialisés &amp; coopératives</li> <li>-Site web : fiche technique &amp; commande en ligne</li> <li>-Panneaux affichage zones agricoles</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Couts</b><br>Couts d'investissements : 28 600 000 Da<br>Coût charges fixes : 4 545 000 DA<br>Salaire: 7 000 000 DA<br><b>TOTAL : 40 145 000 Da</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Revenus</b><br>Chiffre d'affaires: 50 400 000 DA<br>Bénéfice : 8 236 000 DA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

## ➤ Business Model Canvas

## **Références bibliographies**

## Références bibliographies

- **Abu Hasan, H., Hamdi, R., Muhamad, M. H., & Nazairi, N. A. (2025).** *Efficient nitrogen recovery from domestic wastewater through struvite precipitation: Optimizing process parameters and characterization analysis.* Ain Shams Engineering Journal. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2025.103760>
- **Berihun, M. E., Kassa, K., & Mohammed, A. Y. (2026).** *Recovery of phosphorus and nitrogen from domestic wastewater by using dolomite rock through struvite precipitation.* Discover Environment, 4, 45. <https://doi.org/10.1007/s44274-026-00536-3>
- **Cordell, D., Drangert, J.-O., & White, S. (2009).** The story of phosphorus: Global food security and food for thought. *Global Environmental Change*, 19(2), 292-305. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.10.009>
- **Dechesne, M. (2025).** *Récupération du phosphore des eaux usées sous forme de struvite : Étude bibliographique et expérimentale. Rapport de stage, Laboratoire Eau, Environnement et Systèmes Urbains (LEESU).* [En ligne]. [Consulté le 14/05/2026]. Disponible sur le web : [https://www.leesu.fr/ocapi/wp-content/uploads/2025/03/Rapport-de-stage\\_Maxime-Dechesne\\_vf.pdf](https://www.leesu.fr/ocapi/wp-content/uploads/2025/03/Rapport-de-stage_Maxime-Dechesne_vf.pdf)
- **Doyle, J. D., & Parsons, S. A. (2002).** Struvite formation, control and recovery. *Water Research*, 36(16), 3925–3940. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(02\)00126-4](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00126-4)
- **Dymaczewski, Z., Jeż-Walkowiak, J., Gielniak, W., Komorowska-Kaufman, M., Krzemiński, P., Ribeiro, A. L., & Stachowiak, M. (2025).** *Wastewater recovered struvite: Quality assessment for heavy metals, PFAS, and microplastic.* *Desalination and Water Treatment*, 323, 101301. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2025.101301>
- **Fazira, Z., et al. (2024).** *Synthesis of struvite fertilizer (MgNH<sub>4</sub>PO<sub>4</sub>·6H<sub>2</sub>O) from cow urine and bittern by precipitation technique.* *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 19(2). [En ligne]. [Consulté le 14/05/2026]. Disponible sur le web : <https://jurnal.usk.ac.id/RKL/article/view/28675>
- **Fernandes, V. B., Farinon, D. M., Fernandes, A., Silveira, J. E., Amaro, A., Zazo, J. A., & Sousa, C. Y. (2026).** *Towards a circular phosphorus economy: Electroless struvite precipitation from cheese whey wastewater using magnesium anodes.* *Applied Sciences*, 16(1), 298. <https://doi.org/10.3390/app16010298>
- **Hanhoun, M. (2023).** *Étude et optimisation de la récupération du phosphore des eaux usées sous forme de struvite : Application à l'économie circulaire.* Thèse de doctorat, Université Paris-Est. [En ligne]. [Consulté le 16/05/2026]. Disponible sur le web : [https://theses.hal.science/tel-04236652v1/file/HANHOUN\\_Mary.pdf](https://theses.hal.science/tel-04236652v1/file/HANHOUN_Mary.pdf)
- **Hanhoun, M., et al. (2020).** *Recovery of phosphorus from wastewater by struvite precipitation: Process optimization and characterization.* *HAL Open Science*. [En ligne]. [Consulté le 16/05/2026]. Disponible sur le web : <https://hal.inrae.fr/hal-02597159v1>
- **Issac, R., Prabha, M. L., Renitta, R. E., Murugan, S., George, J. A., Jebaseeli, T. J., & Vijayanand, S. (2023).** *Using chemical precipitation to recover struvite from household wastewater for agricultural fertilizer utilization.* *Engineering Proceedings*, 59(1), 38. [En ligne]. [Consulté le 17/05/2026]. Disponible sur le web : <https://www.mdpi.com/2673-4591/59/1/38>
- **Karafiludis, S., Buzanich, A. G., Kochovski, Z., Feldmann, I., Emmerling, F., & Stawski,**

**T. M. (2021).** *Ni- and Co-struvites : Revealing crystallization mechanisms and crystal engineering towards applicational use of transition metal phosphates*. arXiv.  
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2111.09144>

- **Karanasiou, A. C., Tsaridou, C. K., Sioutopoulos, D. C., Tzioumaklis, C., Patsikas, N., Patsios, S. I., Plakas, K. V., & Karabelas, A. J. (2025).** *Valorization of anaerobic liquid digestates through membrane processing and struvite recovery—The case of dairy effluents*. *Membranes*, 15(7), 189. <https://doi.org/10.3390/membranes15070189>
- **Le Corre, K. S., Valsami-Jones, E., Hobbs, P., & Parsons, S. A. (2009).** Phosphorus recovery from wastewater by struvite crystallization: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 39(6), 433–477.  
<https://doi.org/10.1080/10643380701640573>
- **Li, H., He, Y., Long, B., Li, X., Tian, X., Li, S., & Ma, L. (2025).** *Struvite as a sustainable fertilizer: Nutrient recovery from corn starch wastewater with minimal sludge production*. *Frontiers in Water*, 7, 1629179. <https://doi.org/10.3389/frwa.2025.1629179>
- **Li, Q., et al. (2020).** *The recovery of phosphorus from acidic ultra-high phosphorous wastewater by the struvite crystallization*. *Water*, 12(4), 946.  
<https://doi.org/10.3390/w12040946>
- **Liu, X., Wang, Y., Zhang, S., Li, J., Chen, Y., & Zhao, H. (2021).** Phosphorus recovery from wastewater in response to initial nutrients concentration and N/P molar ratio. *Science of the Total Environment*, 791, 148132. [En ligne]. [Consulté le 20/05/2026]. Disponible sur le web : <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148132>
- **Mores, R., Cunha Junior, A., Antes, F. G., Di Luccio, M., Demaman Oro, C. E., Tres, M. V., Steffens, C., Steffens, J., Kunz, A., & Dallago, R. M. (2025).** *Electrochemical precipitation of struvite from wastewater: A sustainable approach for nitrogen recovery*. *Separations*, 12(5), 108. <https://doi.org/10.3390/separations12050108>
- **Moulessehoul, A., et al. (2024).** *Phosphorus removal and recovery from water and wastewater by the struvite crystallization*. *Desalination and Water Treatment*, 320, 100902.  
<https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100902>
- **Münch, E. V., & Barr, K. (2001).** *Controlled struvite crystallisation for removing phosphorus from anaerobic digester sidestreams*. *Water Research*, 35(1), 151–159.  
[https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00246-0](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00246-0)
- **Pérez-Piqueres, A., Ribó, M., Rodríguez-Carretero, I., Quiñones, A., & Canet, R. (2023).** *Struvite as a sustainable fertilizer in Mediterranean soils*. *Agronomy*, 13(5), 1391.  
<https://doi.org/10.3390/agronomy13051391>
- **Phu, D. H., Ngoc, L. T., Tu, L. N. Q., Hieu, D. T. M., Long, N. Q., & Le, M.-V. (2022).** *Simultaneous recovery of phosphorus and nitrogen from inorganic fertilizer wastewater*. *Journal of Applied Science and Engineering*, 25(4), 673–684.  
[https://doi.org/10.6180/jase.202208\\_25\(4\).0013](https://doi.org/10.6180/jase.202208_25(4).0013)
- **Santos, A. F., Mendes, L. S., Alvarenga, P., Gando-Ferreira, L. M., & Quina, M. J. (2024).** *Nutrient recovery via struvite precipitation from wastewater treatment plants: Influence of operating parameters, coexisting ions, and seeding*. *Water*, 16(12), 1675.  
<https://doi.org/10.3390/w16121675>
- **Srivastava, A., et al. (2024).** Phosphorous recovery potential from sewage sludge by struvite precipitation: Remodelling policy framework in Rajasthan, India. *Water Science and*

Technology. [En ligne]. [Consulté le 22/05/2026]. Disponible sur le web :  
<https://www.researchgate.net/publication/382327205>

- **Stolzenburg, P., Capdevielle, A., Teychené, S., & Biscans, B. (2015).** *Struvite precipitation with MgO as a precursor: Application to wastewater treatment*. Chemical Engineering Science, 133, 9–15. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2015.03.008>
- **Szymańska, M., Szara, E., Wąs, A., Sosulski, T., van Pruissen, G. W. P., & Cornelissen, R. L. (2019).** *Struvite—An innovative fertilizer from anaerobic digestate produced in a bio-refinery*. Energies, 12(2), 296. <https://doi.org/10.3390/en12020296>
- **Tarrass, F., Benjelloun, H., & Benjelloun, M. (2023).** *Nitrogen and phosphorus recovery from hemodialysis wastewater to use as an agricultural fertilizer*. Nefrología, 43(S1), 32–37. <https://doi.org/10.1016/j.nefro.2023.10.001>
- **Toprak, P., Dubey, A. A., Mukherjee, A., Pring, A., Rodriguez-Navarro, C., & Dhami, N. K. (2025).** *Microbial factors behind struvite precipitation: Enzymes and extracellular polymeric substances (EPS) as key players*. Applied Microbiology and Biotechnology, 109, 266. <https://doi.org/10.1007/s00253-025-13644-6>
- **Valverde-Vozmediano, L., Martínez-Sabater, E., Jordán, M. M., Santateresa, E., Sáez-Tovar, J. A., Vanotti, M. B., Bustamante, M. Á., & Moral, R. (2025).** *Sustainable phosphorus and protein recovery from different organic wastes: Process optimization and struvite precipitation potential*. Agronomy, 15(10), 2305. <https://doi.org/10.3390/agronomy15102305>
- **Withers, P. J. A., Talboys, P. J., Heppell, J., Roose, T., Healey, J. R., & Jones, D. L. (2016).** *Struvite: A slow-release fertiliser for sustainable phosphorus management?* Plant and Soil, 401(1–2), 109–123. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2747-3>
- **Xu, H., He, P., Gu, W., Wang, G., & Shao, L. (2012).** *Recovery of phosphorus as struvite from sewage sludge ash*. Journal of Environmental Sciences, 24(8), 1533–1538. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(11\)60969-8](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(11)60969-8)

# **Annexes**

## **Annexes**

### **ANNEXE A : Enquête sur les habitudes d'utilisation des engrais et l'acceptabilité d'un engrais issu des eaux usées : cas du marché agricole algérien**

#### **Objectifs de l'enquête :**

L'objectif principal de cette enquête est d'évaluer les habitudes d'utilisation des engrais par les agriculteurs algériens, leur sensibilité aux enjeux environnementaux, ainsi que leur degré d'acceptabilité d'un nouvel engrais. La population ciblée regroupe des agriculteurs, jardiniers amateurs de la région d'Alger, représentant un large éventail de profils, de superficies d'exploitation et de pratiques de fertilisation.

#### **Méthodologie :**

Nous avons opté pour un échantillonnage aléatoire, afin de garantir une représentativité satisfaisante des réponses. Un total de 100 participants a été fixé comme taille d'échantillon. Pour ce faire, nous avons utilisé un questionnaire structuré composé d'une vingtaine de questions adressé aux habitants de la région d'Alger.

#### **Questions clés :**

##### **1. Questions sur le profil et les habitudes d'utilisation des engrais**

- Quelle est votre activité principale ?
- Quelle est la superficie de votre exploitation agricole ?
- Utilisez-vous des engrais pour vos cultures ?
- Quels types d'engrais utilisez-vous actuellement ?
- Quelle est votre fréquence d'achat d'engrais ?
- Où achetez-vous habituellement vos engrais ?
- Quel format d'emballage préférez-vous ?
- Quel est votre budget mensuel moyen consacré aux engrais ?
- Quels sont vos critères d'achat les plus importants ?

##### **2. Questions sur la sensibilité environnementale et la connaissance de la struvite**

- Êtes-vous sensible à l'impact environnemental des engrais que vous utilisez ?
- Connaissez-vous la Struvite ( $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) comme engrais ?

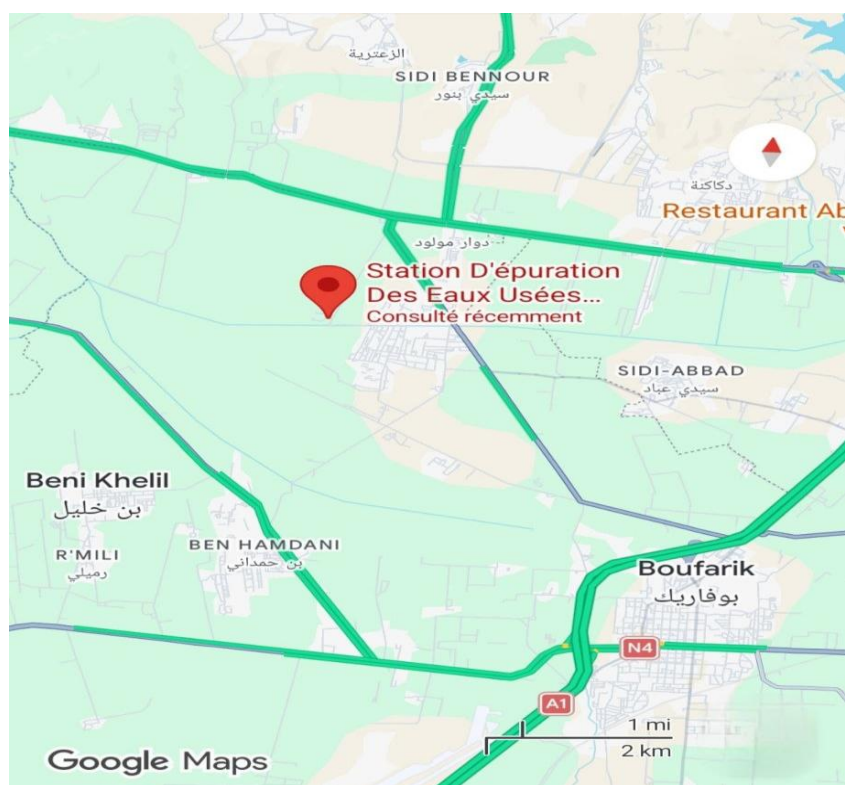
### **3. Questions sur l'acceptabilité et l'intention d'achat**

- Seriez-vous prêt(e) à utiliser un engrais produit à partir des eaux usées urbaines traitées, si son efficacité était scientifiquement prouvée ?
- Si non, quelle est la principale raison de votre refus ?
- Quel avantage vous convaincrail le plus d'adopter ce nouvel engrais ?
- À quel prix seriez-vous prêt(e) à acheter un sac de 25 kg de struvite (engrais NPMg local)?
- Sur une échelle de 1 à 5, quelle est votre intention d'achat pour un engrais local issu des eaux usées traitées ?

## ANNEXE B : Recueil d'images prises lors de l'enquête sur le terrain.



**ANNEXE C : Vue satellitaire de la station d'épuration des eaux usées de Boufarik, site de prélèvement des échantillons.**



## ANNEXE E : Salaires et charges sociale

| Poste                                 | Année 1 (DA) | Année 2 (DA) | Année 3 (DA) |
|---------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Directeur General                     | 737 000 DA   | 737 000 DA   | 759 000 DA   |
| Co-Directeur General                  | 695 000 DA   | 695 000 DA   | 716 000 DA   |
| Assistant administratif               | 313 000 DA   | 313 000 DA   | 322 000 DA   |
| Ingénieur agronome                    | 410 000 DA   | 410 000 DA   | 422 000 DA   |
| Ingénieur qualité                     | 410 000 DA   | 410 000 DA   | 422 000 DA   |
| 2 Technicien qualité / laboratoire    | 640 000 DA   | 640 000 DA   | 659 000 DA   |
| Ingénieur procédés / génie industriel | 417 000 DA   | 417 000 DA   | 430 000 DA   |
| 2 Operateur de production             | 723 000 DA   | 723 000 DA   | 745 000 DA   |
| Technicien maintenance                | 299 000 DA   | 299 000 DA   | 308 000 DA   |
| 2 Commercial terrain agricole         | 681 000 DA   | 681 000 DA   | 702 000 DA   |
| Comptable                             | 403 000 DA   | 403 000 DA   | 415 000 DA   |
| Magasinier / logisticien              | 334 000 DA   | 334 000 DA   | 344 000 DA   |
| Ingénieur HSE                         | 382 000 DA   | 382 000 DA   | 394 000 DA   |
| 2 Agents HSE / Hygiène et nettoyage   | 556 000 DA   | 556 000 DA   | 572 000 DA   |
| TOTAL                                 | 7 000 000 DA | 7 000 000 DA | 7 210 000 DA |

## ANNEXE F : Besoin en matériel.

| Équipement                                                                 | Fonction / Rôle dans le procédé                                                                                                   | Prix unitaire (DA) | Prix total (DA) |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------|
| Chambre froide 4°C                                                         | Conservation des échantillons et boues prélevées avant traitement, évite la dégradation biologique du phosphate et de l'ammonium. | 800 000            | 800 000         |
| Paillasse de laboratoire                                                   | Support des analyses physico-chimiques (PO <sub>4</sub> , NH <sub>4</sub> , pH) et manipulations courantes.                       | 80 000             | 160 000         |
| Cuve de stockage 10 000 L                                                  | Stockage tampon de l'effluent brut prélevé avant traitement.                                                                      | 900 000            | 1 800 000       |
| Réacteur inox 25 000 L                                                     | Réacteur principal où se déroule la précipitation de la struvite (ajustement pH, ajout MgCl <sub>2</sub> , agitation).            | 6 300 000          | 6 300 000       |
| Agitateur industriel                                                       | Assure l'agitation rapide (nucléation) puis lente (croissance des cristaux) dans le réacteur.                                     | 500 000            | 1 000 000       |
| Pompe doseuse                                                              | Dosage précis du NaOH (ajustement pH) et du MgCl <sub>2</sub> (ajustement rapport Mg:P).                                          | 120 000            | 360 000         |
| pH-mètre                                                                   | Mesure et contrôle du pH durant l'ajustement et la précipitation.                                                                 | 50 000             | 100 000         |
| Cuve de décantation                                                        | Séparation par gravité des cristaux de struvite du surnageant après précipitation.                                                | 900 000            | 900 000         |
| Capteur de niveau                                                          | Suivi automatique des niveaux de liquide dans les cuves et le réacteur.                                                           | 60 000             | 180 000         |
| Pompe à vide                                                               | Alimente le système de filtration sous vide pour séparer le précipité du liquide.                                                 | 300 000            | 300 000         |
| Étuve de séchage industrielle                                              | Séchage du précipité (struvite) à 40°C pendant 12h pour éliminer l'humidité résiduelle.                                           | 220 000            | 220 000         |
| Balance industrielle                                                       | Pesée des matières premières (MgCl <sub>2</sub> ) et du produit fini (struvite) pour le suivi des rendements.                     | 220 000            | 220 000         |
| Spectrophotomètre Hach (DR3900)                                            | Analyse colorimétrique des concentrations en PO <sub>4</sub> et NH <sub>4</sub> (caractérisation amont et aval).                  | 1 800 000          | 1 800 000       |
| Kits réactifs PO <sub>4</sub> /NH <sub>4</sub> (lot annuel)                | Réactifs consommables nécessaires aux dosages colorimétriques du phosphate et de l'ammonium.                                      | 18 000             | 216 000         |
| Microscope binoculaire                                                     | Observation visuelle de la morphologie des cristaux de struvite obtenus.                                                          | 150 000            | 150 000         |
| Verrerie + consommables labo (bêchers, pissettes, pipettes graduées, etc.) | Manipulations courantes de laboratoire pour les analyses et essais.                                                               | 10 000             | 10 000          |
| Thermomètre                                                                | Contrôle de la température lors du séchage et du suivi des échantillons.                                                          | 10 000             | 30 000          |
| Système de transfert/pompage des boues                                     | Acheminement des boues de l'épaississeur vers le réacteur de précipitation.                                                       | 800 000            | 800 000         |
| Réservoir de stockage MgCl <sub>2</sub>                                    | Stockage du réactif magnésien utilisé pour l'ajustement du rapport Mg:P.                                                          | 400 000            | 400 000         |
| Étagères / rayonnages de stockage                                          | Stockage du produit fini (struvite séchée) et des consommables avant conditionnement.                                             | 30 000             | 120 000         |
| <b>Sous-total équipements</b>                                              |                                                                                                                                   | <b>15 866 000</b>  |                 |

## **Résumé :**

Conformément à l'arrêté ministériel 1275, **NutriLoop** est une entreprise algérienne fondée par deux ingénieures spécialisées en traitement des eaux, dont l'activité consiste à valoriser les eaux usées urbaines par récupération de la **struvite** ( $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), un engrais minéral naturel à libération lente. Obtenue par précipitation contrôlée à pH 9,5 avec un rapport molaire Mg:P de 1,3 :1 pour un rendement de 88 %, la Struvite est commercialisée sous le nom **Struvex**, un engrais NPMg écologique, sans synthèse chimique, efficace sur la croissance végétative et adapté aux cultures algériennes. Décliné en trois formats (**5 kg, 25 kg et 50 kg**), il cible les agriculteurs professionnels, les coopératives et les jardiniers amateurs de la région d'Alger. Grâce à une stratégie de distribution progressive et une communication basée sur la démonstration agronomique terrain, **NutriLoop** vise à s'imposer comme une alternative locale et durable aux engrais phosphatés importés, tout en contribuant à la souveraineté agricole algérienne et aux principes de l'économie circulaire.

**Mots-clés :** Struvite, Valorisation des eaux usées, Récupération du phosphore, Économie circulaire, Engrais à libération lente, Agriculture durable, Précipitation.

## **Summary:**

In accordance with Ministerial Order 1275, **NutriLoop** is an Algerian company founded by two engineers specializing in water treatment, whose activity consists of upgrading urban wastewater by recovering Struvite ( $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), a natural mineral slow-release fertilizer. Obtained by controlled precipitation at pH 9.5 with a molar ratio Mg:P of 1.3:1 for a yield of 88%, struvite is marketed under the name Struvex, an ecological NPMg fertilizer, without chemical synthesis, effective on vegetative growth and adapted to Algerian crops. Declined in three formats (5 kg, 25 kg and 50 kg), it targets professional farmers, cooperatives and amateur gardeners from the region of Algiers. Through a progressive distribution strategy and communication based on agronomic field demonstration, NutriLoop aims to establish itself as a local and sustainable alternative to imported phosphate fertilizers, while contributing to Algerian agricultural sovereignty and the principles of the circular economy.

## ملخص

طبقاً للقرار الوزاري رقم 1275، فإن شركة **NutriLoop** هي شركة جزائرية أسسها مهندسان متخصصان في معالجة المياه، ويتمثل نشاطها في تحسين مياه الصرف الصحي الحضريّة عن طريق استعادة **الستروفيت ( $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )** وهو سماد معدني طبيعي بطيء الإطلاق. يتم الحصول على الستروفيت عن طريق الترسيب المتحكم فيه عند درجة حموضة 9.5 بنسبة مولية  $\text{Mg:P}$  تبلغ 1.3:1 بإنتاجية 88%، ويتم تسويقه تحت اسم **Struvex**، وهو سماد بيئي  $\text{NPMg}$ ، بدون تخليق كيميائي، فعال في النمو الخضري ومتكيف مع المحاصيل الجزائرية. تم تخفيض وزنه إلى ثلاثة أشكال (5 كجم، 25 كجم و50 كجم)، وهو يستهدف المزارعين المحترفين والتعاونيات والبستانيين الهواة من منطقة الجزائر. من خلال استراتيجية التوزيع التدريجي والتواصل المبني على العرض الميداني الزراعي، تهدف **NutriLoop** إلى ترسيخ نفسها كبديل محلي ومستدام للأسمدة الفوسفاتية المستوردة، مع المساهمة في السيادة الزراعية الجزائرية ومبادئ الاقتصاد الدائري.