



Faculty of Sciences and Technology
Department of Process Engineering
Ref :...../U.M/F.S.T/2025

كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم هندسة الطرائق
رقم :..... / ج.م.ك.ع.ت//2025

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : **GÉNIE DES PROCÉDÉS**
Option: **GÉNIE CHIMIQUE**

THÈME

Formulation d'un shampoing naturel à base d'huile de lin

Présenté par : KABOURA Soltana Sarah

Soutenu le 29/06/ 2025 devant le jury composé de :

| | | | |
|-----------------------|----------------------|-----|--------------------------|
| Président : | SAIDJ Merzoug | MCA | Université de Mostaganem |
| Examineur : | MELLOUK Senia | MCA | Université de Mostaganem |
| Rapporteur : | DRIOUCH Aouatef | Pr | Université de Mostaganem |
| Rapporteur : | MEZOUAGH Amina | MCA | Université de Mostaganem |
| Co-rapporteur. | MOHAMED SEGHIRZahira | MCB | Université de Mostaganem |
| Co-rapporteur | BOUBEGRA Naima | MCA | Université de Mostaganem |

Année Universitaire 2024/2025

REMERCIEMENTS

Avant tout, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Dieu, Le Tout-Puissant, pour m'avoir accordé la force, la patience et le courage nécessaires à la réalisation de ce projet.

Je souhaite ensuite remercier sincèrement **Pr Driouch Aouatef**, mon encadrante, pour sa disponibilité, son accompagnement constant, son écoute bienveillante et les précieux conseils qu'elle m'a prodigués tout au long de ce travail. Son soutien a été essentiel à chaque étape de ce projet.

Mes remerciements vont également à **Dr Mohamed Seghir Zahira, Dr Mezouagh Amina et Dr Boubegra Naima** ; mes co-encadrantes, pour leur aide, leur disponibilité et leur appui technique durant la réalisation de ce mémoire.

Je remercie chaleureusement **l'équipe de la start-up** pour les formations enrichissantes, les conseils pertinents ainsi que leur accompagnement professionnel et humain.

Je remercie également **nos partenaires socio-économiques**, qui nous honorent par leur présence et dont l'encouragement nous est précieux.

Je tiens également à exprimer ma reconnaissance à **l'équipe du laboratoire de l'Université des Sciences et de la Technologie** pour leur accueil et leur contribution au bon déroulement de mon stage.

Mes remerciements les plus sincères vont aux membres du jury, le **Dr Saidj Merzouk**, pour avoir accepté de présider ce jury, ainsi qu'au **Dr Mellouk Senia**, pour avoir examiné ce travail. Je les remercie pour le temps qu'ils y ont consacré et pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon projet.

Enfin, je remercie l'ensemble de **nos enseignants du département de Génie des Procédés** pour la qualité de la formation reçue tout au long de notre parcours académique.

DEDICACE

À **moi-même**, pour ces cinq années d'efforts, de persévérance et de résilience, notamment durant cette dernière année intense.

À **mes parents**, pour leur amour inconditionnel, leur soutien indéfectible et tous les sacrifices qu'ils ont faits pour moi tout au long de ma vie.

Je dédie également ce travail à **mes frères Karim et Salim**, et à **ma sœur Baya**, pour leur présence constante, leurs conseils précieux et leur écoute bienveillante.

Une pensée toute particulière à **mon neveu Ahmed**, à **mon beau-frère Amar**, à **ma belle-sœur Malika**, ainsi qu'à **ma grand-mère**, qui occupent une place spéciale dans mon cœur.

Enfin, à **mes amis**, pour leur soutien, leur bienveillance et leurs encouragements qui m'ont portée tout au long de ce parcours.

Résumé

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la valorisation des ingrédients naturels dans les produits cosmétiques, à travers la formulation d'un shampoing liquide à base d'huile de lin. L'objectif principal était de développer une formule stable, efficace et respectueuse du cuir chevelu, en exploitant les propriétés nourrissantes de l'huile de lin. Huit formulations ont été conçues en faisant varier les proportions de trois ingrédients clés : le coco-glucoside (tensioactif), la gomme xanthane (agent gélifiant) et l'huile de lin (actif nourrissant). Les produits obtenus ont été évalués à travers des analyses organoleptiques (aspect, texture, mousse, odeur), physico-chimiques (pH, densité) et microbiologiques. Un plan d'expérience a permis d'identifier l'influence de chaque facteur sur la qualité finale du produit. Les résultats ont permis de déterminer la formulation optimale, conciliant bonne stabilité, aspect agréable et performance cosmétique. Cette démarche s'inscrit dans la tendance actuelle vers des soins capillaires plus naturels et écologiques, et montre que l'huile de lin peut constituer un ingrédient actif intéressant dans les shampoings doux.

Abstract

This study is part of the valorization of natural ingredients in cosmetic products, through the formulation of a liquid shampoo based on linseed (flaxseed) oil. The main objective was to develop a stable, effective, and scalp-friendly formula by taking advantage of the nourishing properties of linseed oil. Eight formulations were developed by varying the proportions of three key ingredients: coco-glucoside (surfactant), xanthan gum (thickening agent), and linseed oil (nourishing active). The products obtained were evaluated through organoleptic analyses (appearance, texture, foam, odor), physico-chemical analyses (pH, density), and microbiological tests. A design of experiments (DOE) approach was used to identify the influence of each factor on the final product quality. The results made it possible to determine the optimal formulation, combining good stability, pleasant appearance, and cosmetic performance. This approach aligns with the current trend toward more natural and eco-friendly hair care, and demonstrates that linseed oil can be a valuable active ingredient in mild shampoos.

ملخص

تُعدّ هذه الدراسة جزءًا من تّمين المكونات الطبيعية في مستحضرات التجميل، من خلال تركيب شامبو سائل مُستخلص من زيت بذر الكتان. كان الهدف الرئيسي هو تطوير تركيبة ثابتة وفعّالة وصدّيقة لفروة الرأس بالاستفادة من خصائص زيت بذر الكتان المغذية. طُورت ثماني تركيبات بتعديل نسب ثلاثة مكونات رئيسية: كوكو-غلوكوزيد (مادة خافضة للتوتر السطحي)، وصبغ الزانثان (مادة مُكثّفة)، وزيت بذر الكتان (مادة مُغذية). قُيِّمت المنتجات الناتجة من خلال تحاليل حسية (المظهر، اللمس، الرغوة، الرائحة)، والاختبارات فيزيائية كيميائية (الرقم الهيدروجيني، الكثافة) والميكروبيولوجية. استُخدم أسلوب تصميم التجارب لتحديد تأثير كل عامل على جودة المنتج النهائي. أتاحت النتائج تحديد التركيبة المثالية، التي تجمع بين الثبات الجيد، والمظهر الجميل، والأداء التجميلي. يتماشى هذا النهج مع التوجه الحالي نحو منتجات عناية بالشعر أكثر طبيعية وصدّيقة للبيئة، ويُظهر أن زيت بذر الكتان يُمكن أن يكون مكونًا فعّالًا قَبِيًّا في الشامبوهات الخفيفة.

LISTE DES SYMBOLES ET ABREVIATIONS

ALA: l'acide alpha-linolénique

DOE: Desing of Experiments

TA: Tensioactifs

SDG: secoisolariciresinol di-glucoside

CO₂: dioxyde de carbone

pH: potentiel hydrogène

INCI: International Nomenclature of Cosmetic Ingredients

DA: Le dinar algérien

°C: degré Celsius

CAF: Capacité d'autofinancement

BMC: Business Model Canvas

IBS: Impôt sur les bénéfices des sociétés

F: Formule

SOMMAIRE

_Toc201953232

| | |
|---|----|
| INTRODUCTION GÉNÉRALE | 1 |
| ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE | 3 |
| 1.1 Les shampoings | 4 |
| 1.1.1. Définition du shampoing | 4 |
| 1.1.2. La composition d'un shampoing | 4 |
| 1.1.3. Formule générale des shampoings | 4 |
| 1.1.4. Mécanisme d'action d'un shampoing | 5 |
| 1.1.5. Différentes catégories de shampoing | 6 |
| 1.2. L'huile de lin | 6 |
| 1.2.1. Définition de l'huile de lin | 6 |
| 1.2.2. Composition chimique de l'huile de lin | 7 |
| 1.2.3. Origine et l'historique de l'utilisation de l'huile de lin en cosmétique | 7 |
| 1.2.4. Propriétés physico-chimiques de l'huile de lin | 8 |
| 1.2.5. Utilisation de l'huile de lin dans les soins capillaires | 8 |
| 1.3. Extraction de l'huile de lin | 9 |
| 1.3.1. Introduction | 9 |
| 1.3.2. Extraction à froid | 9 |
| 1.3.3. Autres méthodes d'extraction de l'huile de lin | 10 |
| 1.3.3.1. Pressage à chaud | 10 |
| 1.3.3.2. Extraction par solvant | 10 |
| 1.3.3.3. Extraction par CO2 supercritique | 11 |
| 1.3.3.4 Facteurs influençant le rendement d'extraction de l'huile de lin | 12 |
| MATERIELS ET METHODES | 13 |
| 2.1. Objectif | 14 |
| 2.2. Matériels | 14 |
| 2.2.1. Matériel végétal | 14 |
| 2.2.2. Matériels du laboratoire | 15 |
| 2.3. Conditions d'hygiène et de sécurité | 15 |
| 2.3.1. Hygiène personnelle | 16 |
| 2.3.2. Sécurité pendant la manipulation | 16 |
| 2.3.3. Hygiène du laboratoire | 16 |
| 2.3.4. Hygiène du matériel | 16 |
| 2.4. Protocole expérimentale | 18 |
| 2.4.1. Introduction à la formulation des huit essais de shampoing | 19 |
| 2.4.2. Plan d'expérience | 19 |
| 2.4.3. Facteurs et niveaux à étudiés | 20 |
| 2.4.4. Choix du design expérimental 2 ³ | 20 |
| 2.4.5. Matrice du plan d'expérience | 21 |
| 2.4.6. Composition massique des ingrédients pour chaque formulation | 21 |
| 2.4.6. Procédé d'élaboration du shampoing | 22 |
| 2.4.7. Rôles et propriétés des ingrédients de la formule | 26 |
| ❖ La glycérine | 26 |
| ❖ Le coco glucoside | 26 |
| ❖ Cosgard | 27 |
| 2.5. Caractérisation des shampoings et fonctionnelles | 27 |
| 2.5.1. Analyses organoléptiques | 27 |
| 2.5.2. Analyses physico-chimiques | 27 |

| | |
|--|----|
| 2.5.2.1. Détermination du pH | 27 |
| 2.5.2.2. Mesure de l'indice de réfraction | 28 |
| 2.5.2.3. Mesure de densité | 28 |
| 2.5.2.4. Dispersion de la saleté | 28 |
| 2.5.2.5. Temps de mouillage | 28 |
| 2.5.2.6. Pouvoir détergent | 29 |
| 2.5.2.7. Pouvoir moussant et stabilité de la mousse | 29 |
| 2.5.2.8. Évaluation factorielle des résultats expérimentaux | 29 |
| 2.5.3. Tests de stabilité | 30 |
| 2.5.3.1. Tests de stabilité préliminaires | 30 |
| 2.5.3.2. Tests de stabilité accélérée | 30 |
| 2.5.4. Analyses microbiologiques | 30 |
| Introduction | 32 |
| 3.1. Analyses organoleptiques | 33 |
| 3.2. Analyses physico-chimiques et fonctionnelles des shampoings | 36 |
| 3.3. Analyses microbiologiques | 48 |
| Introduction | 51 |
| 4.1. Présentation du projet | 51 |
| 4.1.1. Idée du projet (la solution proposée) | 51 |
| 4.1.2. Valeurs proposées | 51 |
| 4.1.3. Équipe projet | 52 |
| 4.1.4. Objectifs du projet | 52 |
| 4.1.5. Calendrier de réalisation du projet | 52 |
| 4.2. Les aspects innovants du projet | 53 |
| 4.2.1. Domaines d'innovation | 53 |
| 4.2.1.1. Innovation produit | 53 |
| 4.2.1.2. Innovation écologique | 54 |
| 4.2.1.3. Innovation marketing et positionnement | 54 |
| 4.2.1.4. Innovation sociale | 55 |
| 4.3. Analyse stratégique du marché | 55 |
| 4.3.1. Analyse de la demande | 55 |
| 4.3.2. Analyse de la concurrence | 56 |
| 4.4. Plan de production et d'organisation | 56 |
| 4.4.1. Processus de production et organisation | 56 |
| 4.4.2. Matériel nécessaire | 57 |
| 4.4.3. Organisation humaine | 58 |
| 4.4.4. Lieu de production | 58 |
| 4.5. Plan financier | 59 |
| 4.5.1. État d'investissement prévisionnel | 59 |
| 4.5.2. Les amortissements | 59 |
| 4.5.3. Les charges annuelles | 60 |
| 4.5.4. Chiffre d'affaires | 61 |
| 4.5.5. Capacité d'Autofinancement (CAF) | 61 |
| 4.5.6. Plan de Financement Prévisionnel | 62 |
| 4.5.7. Compte de Résultat Prévisionnel | 63 |
| 4.5.8. Business Model Canvas (BMC) | 65 |
| 4.6. Le prototype expérimental | 66 |
| CONCLUSION GÉNÉRALE | 69 |
| Références Bibliographiques | |
| Annexe 1 | |

LISTE DES FIGURES

| | |
|---|----|
| Figure 1 .Schéma du mécanisme de détergence... .. | 6 |
| Figure 2 . L'huile de lin | 7 |
| Figure 3 .Extracteur d'huile à froid | 10 |
| Figure 4 .Extraction soxhlet | 11 |
| Figure 5 . Extracron CO2 supercritique | 12 |
| Figure 6 .Graines de lin | 14 |
| Figure 7 .Hygiène personnelle | |
| Figure 8 .Hygiène du laboratoire | 17 |
| Figure 9 .Sécurité pendant la manipulation | 17 |
| Figure 10 .Diagramme du protocole expérimental de la formulation de shampoing | 18 |
| Figure 11 .Mesure de L'eau distillée | |
| Figure 12 .Mesure de la gomme xantahne | 23 |
| Figure 13 .Formation du gel épaississant à base de gomme xanthane | 23 |
| Figure 14 .Incorporation du tensioactif | 24 |
| Figure 15 .Incorporation de la glycérine végétale | 24 |
| Figure 16 .Intégration de l'huile de lin | 25 |
| Figure 17 .Ajout du conservateur | 26 |
| Figure 18 .Les 8 formulations de shampoing | 32 |
| Figure 19 .Mesure de l'indice de réfraction | 38 |
| Figure 20 .Histogramme représentant les valeurs de densité des échantillons de shampoing | 39 |
| Figure 21 .Le poids de saleté..... | 55 |
| Figure 22 .Le lavage de la saleté | 40 |
| Figure 23 .Dispersion de la saleté | 40 |
| Figure 24 .Temps de mouillage | 41 |
| Figure 25 .Courbe de stabilité de la mousse pour les 8 formulations | 44 |
| Figure 26 .Diagramme de Pareto des effets normalisés | 45 |
| Figure 27 .Diagramme de Pareto des effets normalisés | 45 |
| Figure 28 .Diagramme des interactions pour la Densité | 46 |
| Figure 29 .Le prototype | 66 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|----|
| Tableau 1. Formule générale d'un shampoing liquide | 5 |
| Tableau 2. Matériels utilisés | 15 |
| Tableau 3. Tableau des niveaux des facteurs | 20 |
| Tableau 4. Matrice du plan d'expérience codée pour les 8 formulations de shampoing | 21 |
| Tableau 5. Tableau des formulations détaillées des shampoings | 22 |
| Tableau 6. Les résultats des analyses organoleptiques | 33 |
| Tableau 7. Analyses physico-chimiques et fonctionnelles des shampoings | 36 |
| Tableau 8. Résultats des analyses microbiologiques | 48 |
| Tableau 9. Calendrier de réalisation du projet | 53 |
| Tableau 10. Matériel nécessaire | 58 |
| Tableau 11. Les amortissements | 60 |
| Tableau 12. Les charges annuelles | 60 |
| Tableau 13. Chiffres d'affaires. | 61 |
| Tableau 14. La capacité d'autofinancement | 62 |
| Tableau 15. Plan de financement prévisionnel | 63 |
| Tableau 16. Compte de Résultat Prévisionnel | 64 |
| Tableau 17. Le BM | 65 |

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les shampoings figurent parmi les produits d'hygiène corporelle les plus consommés à l'échelle mondiale, représentant un segment clé de la cosmétique capillaire dans le secteur de la grande distribution [1]. Face à la diversité croissante des formulations disponibles sur le marché, les consommateurs, de plus en plus attentifs à la composition des produits, recherchent des alternatives plus sûres, efficaces et respectueuses de l'environnement. Alors que les shampoings conventionnels reposent majoritairement sur des tensioactifs et conservateurs synthétiques, souvent associés à des effets irritants ou perturbateurs endocriniens, une tendance notable émerge en faveur des produits d'origine naturelle [2].

Dans ce contexte, le développement de shampoings naturels à base de composés végétaux s'impose comme une solution innovante et écoresponsable, capable de répondre aux exigences d'une clientèle soucieuse de sa santé et de l'impact écologique de ses choix. L'huile de lin (*Linum usitatissimum*), riche en acides gras polyinsaturés tels que l'acide alpha-linolénique (ALA), en lignanes et en composés phénoliques, se distingue par ses propriétés hydratantes, antioxydantes et anti-inflammatoires [3]. Ces caractéristiques en font un ingrédient de choix pour la formulation de soins capillaires visant à renforcer, protéger et revitaliser les cheveux.

En effet, plusieurs études ont montré que les acides gras essentiels présents dans l'huile de lin favorisent la restauration du film hydrolipidique du cuir chevelu, améliorent la brillance des cheveux et réduisent les phénomènes de desquamation ou d'irritation [4]. Par ailleurs, l'intégration d'ingrédients naturels dans les cosmétiques contribue à la réduction de l'empreinte environnementale globale du produit, tant au niveau de sa production que de sa biodégradabilité [5].

Dans cette optique, la présente étude s'inscrit dans une démarche de formulation verte et durable, en s'appuyant sur un plan d'expériences rigoureux (Design of Experiments, DoE)

Introduction générale

permettant d'optimiser la composition du shampoing en ajustant avec précision les proportions des différents composants.

Ce travail est structuré en quatre grandes parties : une revue de la littérature dédiée aux shampoings naturels et aux propriétés physico-chimiques et biologiques de l'huile de lin ; une deuxième partie consacrée aux matériaux et méthodes employés dans la formulation expérimentale ; une troisième partie présentant les résultats obtenus et leur interprétation ; et enfin, une quatrième partie consacrée au lancement d'une start-up de production d'un shampoing naturel à base d'huile de lin. L'objectif global de cette recherche est de développer un shampoing naturel, stable et performant, constituant une alternative viable aux formulations conventionnelles, tout en intégrant les principes de la chimie verte et de l'innovation durable.

Chapitre 01
ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. Les shampoings

1.1.1. Définition du shampoing

Un shampoing est une préparation cosmétique généralement sous forme liquide ou crème formulée principalement pour nettoyer le cuir chevelu et les cheveux. Il agit en éliminant les impuretés, l'excès de sébum et les résidus de produits coiffants grâce à des agents tensioactifs qui facilitent la dispersion et l'émulsification des saletés. De plus, il peut contenir des agents conditionneurs, des conservateurs et des parfums afin d'améliorer l'expérience sensorielle et la performance globale du produit [6].

1.1.2. La composition d'un shampoing

La formulation d'un shampoing résulte d'un assemblage minutieux d'ingrédients. Les tensioactifs constituent l'élément principal de cette composition, car ils facilitent la dégradation du sébum et la dispersion des impuretés pour une meilleure élimination. En complément, des agents hydratants et conditionneurs sont incorporés pour protéger et adoucir la fibre capillaire, tandis que des conservateurs assurent la stabilité microbiologique du produit. De plus, divers additifs, comme des extraits végétaux ou d'autres substances actives, peuvent être ajoutés afin d'améliorer ses qualités esthétiques et fonctionnelles, tout en préservant l'équilibre naturel du cuir chevelu [6].

1.1.3. Formule générale des shampoings

Un shampoing est composé principalement d'eau (50 à 80 %) et de tensioactifs, principalement anioniques pour le nettoyage et amphotères pour adoucir la formule (voir tableau 1). Il contient aussi des agents épaississants, conditionneurs, conservateurs, parfums et parfois des actifs spécifiques pour des bienfaits ciblés [7].

Tableau 1.Formule générale d'un shampoing liquide

| Ingrédients | Proportions (%) |
|--------------------------|--------------------------|
| Agents lavant (TA) | 15 à 25 |
| Stabilisateurs de mousse | 1 à 4 |
| Épaississants | 2 à 5 |
| Opacifiant | 1 à 2 |
| Conservateurs | 0,1 à 0,5 |
| Traitants spéciaux | Quantité selon le besoin |
| Colorants et parfums | Quantité suffisante |
| Eau | 40 à 60 |

1.1.4. Mécanisme d'action d'un shampoing

Le mécanisme d'action d'un shampoing repose essentiellement sur l'action des tensioactifs. Ces molécules amphiphiles, qui possèdent une partie hydrophile et une partie lipophile, forment des micelles en présence d'eau (figure 1). Ces structures permettent d'encapsuler le sébum et les impuretés présentes sur le cuir chevelu et les cheveux, facilitant ainsi leur élimination lors du rinçage. Comme la formulation est majoritairement aqueuse, le produit se répartit bien sur l'ensemble de la chevelure, assurant un nettoyage efficace tout en respectant l'équilibre naturel du cuir chevelu [8].

Chapitre 1 : Etude Bibliographique

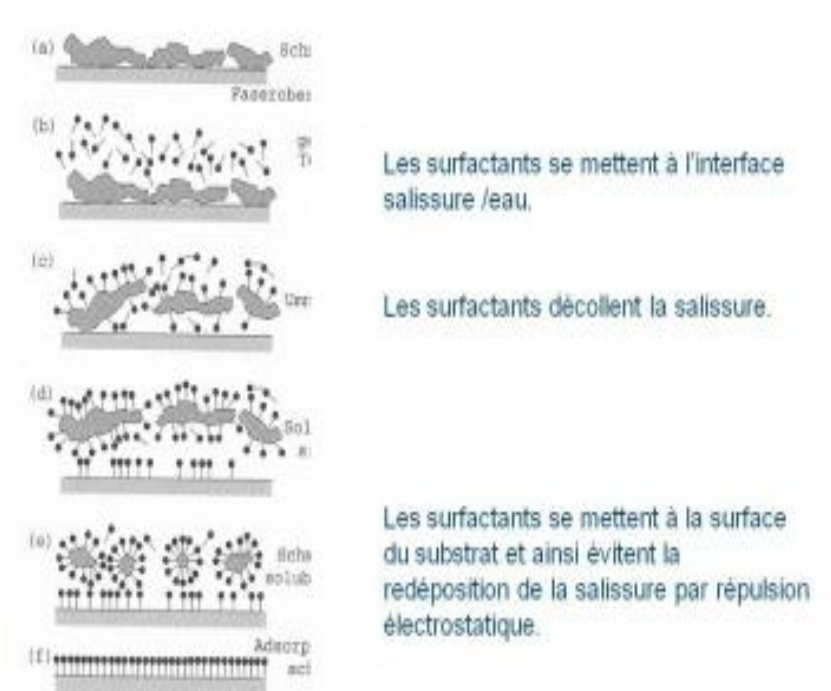


Figure 1. Schéma du mécanisme de détergence.

1.1.5. Différentes catégories de shampoing

Les shampoings se déclinent en plusieurs catégories chacun étant conçu pour répondre à des besoins spécifiques des cheveux et du cuir chevelu. Par exemple, les shampoings hydratants pour cheveux secs, les shampoings volumisants pour cheveux fins, les shampoings antipelliculaires qui aident à éliminer les pellicules, et les shampoings pour cheveux colorés conçus pour préserver l'éclat de la coloration. Chaque type est formulé avec des ingrédients spécifiques pour répondre aux particularités des différents types de cheveux et aux préoccupations des utilisateurs [9].

1.2. L'huile de lin

1.2.1. Définition de l'huile de lin

L'huile de lin ainsi appelée huile de graines de lin est une huile jaune doré, extraite des graines mûres du lin cultivé (figure 2), pressées à froid ou à chaud, et dans certains cas, elle est extraite

Chapitre 1 : Etude Bibliographique

par un solvant, en vue de l'usage industriel. Sa texture varie de fluide à légèrement épaisse, et elle se distingue par sa teinte qui est claire [10].



Figure 2 .L'huile de lin

1.2.2. Composition chimique de l'huile de lin

L'huile de lin est principalement composée de triglycérides formés de trois acides gras, représentant environ 35 et 45% d'huile dans les graines. Ces triglycérides contiennent principalement cinq types d'acides gras : l'acide palmitique (46%), l'acide stéarique (23%), l'acide oléique (10 22%), l'acide linoléique (12 18%) et, en majeure partie, l'acide alpha-linolénique (50 62 %) [11].

De plus, les graines de lin contiennent une quantité remarquable élevée en lignanes, notamment en secoisolariciresinol di-glucoside (SDG), qui peut être jusqu'à 800 fois supérieure à celle observée dans d'autres graines oléagineuses [12].

1.2.3. Origine et l'historique de l'utilisation de l'huile de lin en cosmétique

Chapitre 1 : Etude Bibliographique

L'huile de lin , extraite des graines de *linum usitatissimum* , est utilisée en cosmétique depuis l'Antiquité, elle était surtout utilisée pour la production de fibres et pour ses vertus médicinales et nutritionnelles. À partir du XVI^e siècle, ses propriétés siccatives ont permis de l'employer dans la fabrication de peintures, vernis et autres produits de finition. En ce qui concerne le domaine cosmétique, l'utilisation de l'huile de lin a longtemps été limitée en raison de sa tendance à rancir rapidement, remettant en cause sa stabilité et sa sécurité. Ce n'est qu'au début des années 2000, grâce aux progrès dans les techniques d'extraction et de stabilisation, que l'huile de lin a été réintroduite dans les formulations cosmétiques. Aujourd'hui, elle est particulièrement appréciée pour ses effets hydratants, nourrissants et régénérants, notamment dans les soins capillaires et cutanés, permettant ainsi de redonner vitalité et brillance aux cheveux et d'améliorer l'élasticité de la peau [11].

1.2.4. Propriétés physico-chimiques de l'huile de lin

L'huile de lin présente un ensemble de caractéristiques physico-chimiques remarquables, car son indice d'iode oscille entre 170 et 204, traduit une forte insaturation due à sa teneur élevée en acides gras polyinsaturés, notamment en acide alpha-linolénique. Par ailleurs, son indice de saponification, compris entre 188 et 196, indique la quantité d'hydroxyde nécessaire pour convertir ses triglycérides en savon, alors qu'environ 1,5 % de ses constituants restent non saponifiables, révélant la présence de composés secondaires comme des vitamines et des pigments. Sur le plan physique, sa densité est d'environ 0,927 à 0,931 g/cm³ à 20 °C et son indice de réfraction varie entre 1,4786 et 1,4815, ce qui atteste de sa grande pureté. Enfin, avec un point d'éclair supérieur à 300 °C, l'huile de lin offre une stabilité thermique suffisante pour être utilisée dans des applications industrielles telles que la fabrication de vernis et de peintures à l'huile, bien qu'elle nécessite des conditions de stockage précises pour éviter son oxydation [13].

1.2.5. Utilisation de l'huile de lin dans les soins capillaires

L'application d'huile de lin, riche en acides gras oméga-3, peut apporter de nombreux avantages à la santé des cheveux en favorisant une hydratation profonde et en renforçant la structure capillaire. L'huile, en travaillant sur la cuticule, contribue à lisser les cheveux, leur offrant brillance et flexibilité, tout en limitant leur casse. Par ailleurs, ses qualités anti-inflammatoires calment le cuir chevelu, créant ainsi un milieu favorable à la croissance et à

Chapitre 1 : Etude Bibliographique

la santé générale des cheveux. Incorporer cette huile dans un rituel de soin capillaire comme en l'utilisant en masque pré-shampooing ou en incorporant quelques gouttes à son produit de coiffage habituel peut considérablement optimiser la texture et le rendu esthétique des cheveux [14].

1.3. Extraction de l'huile de lin

1.3.1. Introduction

L'extraction de l'huile de lin est une étape primordiale afin d'obtenir un produit riche en acides gras polyinsaturés et en composés bio actifs, essentiels tant pour les applications alimentaires que cosmétiques. Parmi les techniques disponibles, le pressage à froid qui se distingue par sa capacité à préserver l'intégrité des lipides, en limitant l'exposition aux températures élevées qui peuvent détériorer leurs propriétés nutritionnelles. Pour garantir une huile de lin d'une meilleure qualité, j'opte pour cette méthode d'extraction douce, qui permet de conserver les acides gras sensibles et de limiter l'oxydation [15].

1.3.2. Extraction à froid

Parmi les diverses méthodes d'extraction de l'huile de lin, la technique du pressage à froid (figure 3) se distingue par le contrôle d'une température qui ne dépassant pas 40 °C durant l'ensemble du processus, ce qui contribue à conserver efficacement les acides gras polyinsaturés et les composés bioactifs sensibles à la chaleur. Bien que cette technique présente un rendement un peu inférieur à d'autres méthodes, elle assure une huile de qualité supérieure, tant sur le plan nutritionnel que ses caractéristiques organoleptiques. De plus, l'absence de solvants chimiques assure une pureté accrue du produit fini, un avantage essentiel pour les utilisations dans le domaine alimentaire et cosmétique [15].



Figure 3. Extracteur d'huile à froid

1.3.3. Autres méthodes d'extraction de l'huile de lin

1.3.3.1. Pressage à chaud

Le pressage à chaud consiste à chauffer les graines de lin à des températures qui dépassent 60°C pour diminuer leur viscosité et optimiser la libération des lipides, ce qui accroît l'efficacité de l'extraction. Cependant, cette élévation de température peut partiellement décomposer les acides gras polyinsaturés et réduire le niveau d'antioxydants, ce qui affecte la qualité nutritive et organoleptique de l'huile. En dépit de ce compromis, le pressage à chaud est favorisé dans les milieux industriels où il est crucial d'optimiser la productivité [16].

1.3.3.2. Extraction par solvant

L'extraction par solvant (figure 4) fait souvent appel à l'hexane pour la dissolution et l'extraction des lipides restants dans les graines de lin suite à un premier pressage mécanique. Cette méthode offre une production d'huile considérablement plus élevée, bien que le procédé exige par la suite un raffinage pour supprimer toute présence de solvant et garantir la qualité du produit final destiné à l'alimentation. Malgré l'efficacité de cette méthode en termes de

Chapitre 1 : Etude Bibliographique

rendement, elle comporte également des défis liés à la sécurité et à l'impact environnemental, ce qui impose une gestion stricte des solvants employés [17].



Figure 4.Extraction soxhlet

1.3.3.3. Extraction par CO₂ supercritique

L'extraction au CO₂ supercritique représente une technique de haute technologie qui fait appel au dioxyde de carbone à l'état supercritique en tant que solvant inoffensif pour l'obtention de l'huile de lin (figure 5). Dans ce processus, le CO₂ fonctionne à des températures modérées, facilitant la dissolution efficace des lipides tout en maintenant la stabilité des acides gras polyinsaturés ainsi que celle des composés bio-actifs sensibles à la chaleur. L'absence de résidus de solvants chimiques assure une huile de lin hautement pure, conforme aux normes requises dans les domaines alimentaires et cosmétiques. Malgré des dépenses initiales conséquentes en équipements et en contrôle de processus, cette méthode présente un équilibre idéal entre productivité et qualité du produit fini [18].



Figure 5. Extracion CO2 supercritique

1.3.3.4 Facteurs influençant le rendement d'extraction de l'huile de lin

L'extraction d'huile de lin dépend aussi des propriétés intrinsèques des graines et des paramètres du procédé. La libération des lipides est fortement influencée par la qualité des graines, y compris leur taux d'humidité, leur taille après broyage et leur stade de maturité. Les conditions d'extraction, telles que la température, la pression et la durée de pressage, influencent considérablement le volume d'huile récupéré. Par exemple, une température excessive peut détériorer aux acides gras polyinsaturés et compromettre la qualité de l'huile, tandis qu'un temps d'extraction trop court pourrait diminuer le rendement total. Il est donc crucial d'optimiser ces variables pour produire une huile de lin qui soit à la fois riche en nutriments et en quantité optimale [19].

Chapitre 02

MATERIELS ET METHODES

2.1. Objectif

L'objectif de cette étude est de :

- Mettre au point un shampoing standard, avec un minimum d'ingrédients chimiques, à base d'huile de lin extraite.
- Évaluer les propriétés physico-chimiques, organoleptiques et fonctionnelles des shampoings formulés.

2.2. Matériels

2.2.1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans cette étude est constitué de graines de lin (*Linum usitatissimum*) provenant du commerce (figure 6). Ces graines, soigneusement sélectionnées, sont destinées à l'extraction de l'huile par pression à froid afin de préserver leurs composés actifs.



Figure 6.Graines de lin

2.2.2. Matériels du laboratoire

Les réactifs chimiques, la verrerie et l'appareillage utilisés durant la réalisation de la partie pratique de ce travail sont résumés dans le tableau 2.

Tableau 2. Matériels utilisés

| Verreries | Appareils | Réactifs chimiques |
|----------------------|--------------------|---|
| Barreaux magnétique | Balance électrique | Coco Glucoside ($C_{18}H_{36}O_6$) |
| Eprouvettes graduées | pH mètre | Glycérine ($C_3H_8O_3$) |
| Pipettes gradué | Plaque chauffante | Acide citrique ($C_6H_8O_7$) |
| Spatule | Thermomètre | Gomme guar ($C_6H_{10}O_5$) _n |
| Verre de montre | Réfractomètre | Cosgard (acide déhydroacétique ($C_6H_8O_4$) + l'alcool benzylique (C_7H_8O)) |

2.3. Conditions d'hygiène et de sécurité

Le respect des conditions d'hygiène et de sécurité est fondamental dans tout environnement de travail, notamment en laboratoire ou lors de la fabrication de produits cosmétiques. Ces

Chapitre 2 : Matériels et méthodes

conditions visent à protéger non seulement la santé du personnel, mais aussi la qualité des produits manipulés. L'application rigoureuse des bonnes pratiques permet de limiter les risques de contamination, d'accidents et de non-conformités [20].

2.3.1. Hygiène personnelle

Le respect rigoureux des règles d'hygiène personnelle a été assuré tout au long des manipulations en laboratoire (voir figure 7). Avant chaque opération, le port d'une blouse propre, l'attache des cheveux et le lavage soigneux des mains étaient systématiquement effectués. Le port de gants et de masque a également été maintenu afin de prévenir toute contamination [20].

2.3.2. Sécurité pendant la manipulation

Durant tout le processus, les normes de sécurité ont été strictement respectées en utilisant des équipements de protection individuelle comme les gants (voir figure 9). Ces précautions ont permis de garantir un environnement de travail sécurisé tout en assurant la protection de la santé de l'opérateur [21].

2.3.3. Hygiène du laboratoire

Tout au long de l'expérimentation, le laboratoire a été maintenu propre et bien organisé. Les plans de travail étaient régulièrement désinfectés et tout déversement éventuel immédiatement nettoyé (voir figure 8). Le respect des zones de travail définies a été observé, tout en évitant l'encombrement des plans de travail avec du matériel non essentiel. Ces pratiques contribuent à garantir un environnement de travail sain, sécurisé et efficace [22].

2.3.4. Hygiène du matériel

Le matériel que j'ai utilisé a été nettoyé avec rigueur après chaque utilisation. Pour garantir la fiabilité des résultats, j'ai suivi des procédures de désinfection adaptées à chaque type d'équipement. J'ai aussi pris soin de bien sécher et ranger le matériel afin d'éviter tout risque de contamination ou d'altération des propriétés des produits utilisés par la suite [20].



Figure 7.Hygiène personnelle



Figure 8.Hygiène du laboratoire



Figure 9.Sécurité pendant la manipulation

2.4. Protocole expérimentale

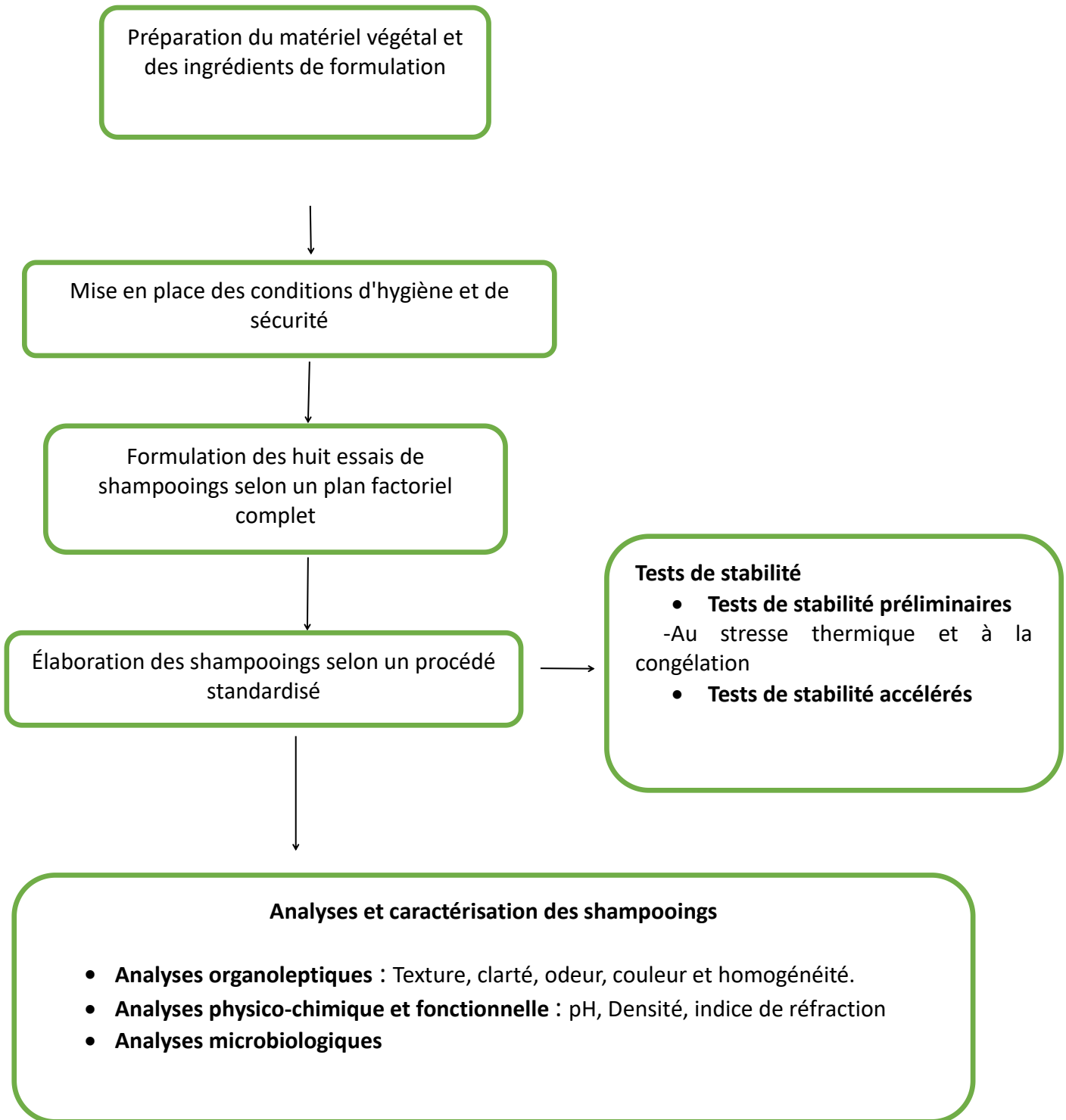


Figure 10. Diagramme du protocole expérimental de la formulation de shampoing

2.4.1. Introduction à la formulation des huit essais de shampoing

Dans le contexte de cette étude, huit formules de shampoing ont été élaborées en ajustant les proportions d'huile de lin et de tensioactif. L'objectif de cette recherche est d'examiner l'influence de ces fluctuations sur les caractéristiques physico-chimiques du produit final, en particulier le pH, la viscosité et la stabilité. Le but principal est d'identifier la composition idéale qui assure à la fois l'efficacité et la sécurité pour une application cosmétique, tout en proposant des suggestions pour optimiser la formulation future.

2.4.2. Plan d'expérience

Nous avons adopté la méthode des plans d'expériences pour étudier l'effet de divers facteurs sur les propriétés physico-chimiques du shampoing. Cette méthode structure les essais en optimisant le nombre d'expérimentations tout en assurant une étude minutieuse des effets principaux et des interactions entre les variables examinées.

La démarche expérimentale s'appuie sur un design factoriel complet 2^3 , permettant l'analyse conjointe de trois facteurs, chacun à deux niveaux. Ce type de stratégie offre une meilleure compréhension de l'effet de chaque facteur ainsi que de leurs interactions sur la qualité du shampoing, notamment en termes de pH, de viscosité et de stabilité.

Le modèle utilisé peut être représenté mathématiquement par :

$$Y = f(X_i)$$

Où Y représente la réponse mesurée (paramètres physico-chimiques) et X_i les facteurs étudiés, à savoir le taux de tensioactif (X_1), la quantité de gomme xanthane (X_2) et l'huile de lin (X_3).

2.4.3. Facteurs et niveaux à étudiés

Comme les proportions des autres ingrédients de notre formule étant fixées à l'avance, le tensioactif, la gomme xanthane et l'huile de lin constituent les trois éléments contrôlables, puisqu'ils influent directement sur les caractéristiques physico-chimiques du shampoing, notamment la viscosité et la stabilité.

Leurs domaines d'intérêt, exprimés en pourcentage massique, sont les suivants :

- Taux actif (tensioactif) : 30 % à 36 %
- Gomme xanthane : 0,8 % à 1.4 %
- Huile de lin : 4 % à 8 %

Les fractions des autres composants de la formule sont :

- Eau distillée : 53 % 63.6 %
- Conservateur : 0,6 %
- Correcteur de pH : 0,3 %

Ces choix ont été réalisés en se basant sur des données issues de la littérature et dans le but de garantir une stabilité optimale et des propriétés adaptées au cuir chevelu.

Tableau 3. Tableau des niveaux des facteurs

| Facteurs | Niveau bas | Niveau haut |
|----------------|------------|-------------|
| Coco glucoside | 15 | 18 |
| Gomme xanthane | 0,4 | 0,7 |
| Huile de lin | 2 | 4 |

2.4.4. Choix du design expérimental 2³

L'approche expérimentale s'appuie sur une conception factorielle complète 2³, qui offre la possibilité d'analyser conjointement trois facteurs, chaque facteur étant examiné à deux niveaux distincts. Cette approche a été adoptée en raison de sa capacité à fournir une étude détaillée des impacts individuels de chaque élément (tensioactif, gomme xanthane et huile de lin) et de leurs interactions, tout en réduisant le volume d'expérimentations requis. Cette méthode facilite donc

l'amélioration de la composition du shampooing en détectant rapidement les associations les plus efficaces concernant le pH, la viscosité et la stabilité.

2.4.5. Matrice du plan d'expérience

Afin d'évaluer l'effet de différents paramètres sur la qualité du shampooing, un plan d'expérience factoriel à trois facteurs et deux niveaux a été adopté (Tableau 4). La matrice suivante présente les combinaisons codées des niveaux de chaque facteur testé.

Tableau 4.Matrice du plan d'expérience codée pour les 8 formulations de shampooing

| Formulation | X₁ (Coco-glucoside) | X₂ (Gomme xanthane) | X₃ (Huile de lin |
|--------------------|---|---|--|
| F1 | -1 | -1 | -1 |
| F2 | +1 | -1 | -1 |
| F3 | -1 | +1 | -1 |
| F4 | +1 | +1 | -1 |
| F5 | -1 | -1 | +1 |
| F6 | +1 | -1 | +1 |
| F7 | -1 | +1 | +1 |
| F8 | +1 | +1 | +1 |

2.4.6. Composition massique des ingrédients pour chaque formulation

Les formulations ont été élaborées en variant les proportions des ingrédients principaux tout en maintenant constantes les fractions des composants secondaires. La composition massique détaillée de chaque formulation est présentée dans le tableau 5.

Tableau 5.Tableau des formulations détaillées des shampoings

| Formulation | Coco glucoside (gr) | Gomme xanthane (gr) | Huile de lin (gr) | Eau distillée (gr) | Glycérine (gr) | Cosgard (gr) |
|--------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------|
| F1 | 15 | 0,4 | 2 | 31,3 | 1 | 0,3 |
| F2 | 18 | 0,4 | 2 | 28 | 1 | 0,3 |
| F3 | 15 | 0,7 | 2 | 31 | 1 | 0,3 |
| F4 | 18 | 0,7 | 2 | 28 | 1 | 0,3 |
| F5 | 15 | 0,4 | 4 | 29,3 | 1 | 0,3 |
| F6 | 18 | 0,4 | 4 | 26,3 | 1 | 0,3 |
| F7 | 15 | 0,7 | 4 | 29 | 1 | 0,3 |
| F8 | 18 | 0,7 | 4 | 26 | 1 | 0,3 |

2.4.6. Procédé d'élaboration du shampoing

❖ **Étape 1** : Préparation de la phase aqueuse

On mesure précisément la quantité d'eau distillée (voir figure 11) dans un bécher stérile et on y ajoute la gomme xanthane (voir figure 12). Ce mélange est agité mécaniquement (à l'aide d'un agitateur magnétique) pour éviter les grumeaux (voir figure 13), puis laissé reposer pendant environ 10 minutes afin d'assurer une hydratation complète et d'obtenir une phase aqueuse homogène.



Figure 11. Mesure de L'eau distillée



Figure 12. Mesure de la gomme xanthane



Figure 13. Formation du gel épaississant à base de gomme xanthane

❖ Étape 2 : Ajout du tensioactif

On incorpore le tensioactif en plusieurs petites portions dans le bécher (voir figure 14), en maintenant une agitation contrôlée pour éviter une sur-formation de mousse et garantir une émulsification optimale



Figure 14. Incorporation du tensioactif

❖ **Étape 3 :** Incorporation de la glycérine végétale

On ajoute ensuite la glycérine végétale (voir figure 15), qui agit en tant qu'humectant et solvant, et on poursuit l'agitation pour assurer une intégration uniforme dans la formulation.

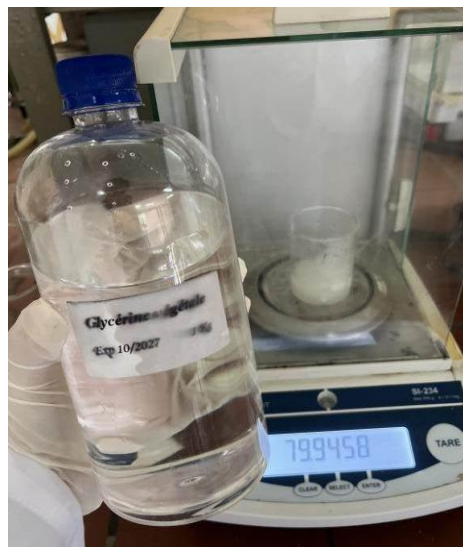


Figure 15. Incorporation de la glycérine végétale

Chapitre 2 : Matériels et méthodes

❖ **Étape 4** : Intégration de l'huile de lin

On introduit progressivement l'huile de lin (voir figure 15), le principal ingrédient actif, sous agitation continue afin de favoriser une dispersion homogène dans la matrice aqueuse et d'obtenir une émulsion stable.

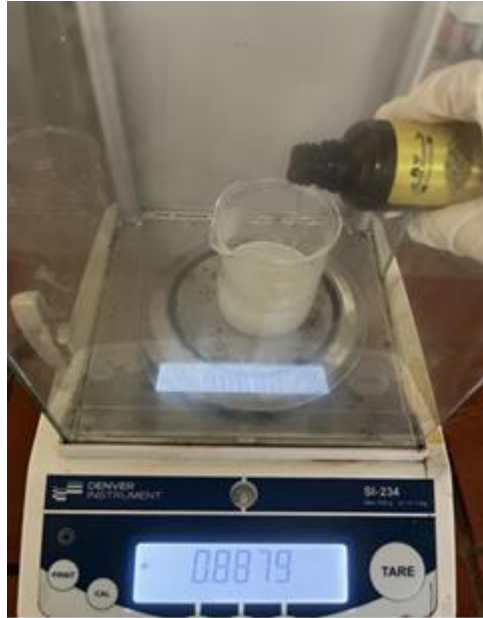


Figure 16.Intégration de l'huile de lin

❖ **Étape 5** : Ajustement du pH

On mesure le pH de la préparation à l'aide d'un pH-mètre calibré (). Pour garantir la stabilité du produit et le confort du cuir chevelu, on ajuste le pH à une valeur idéale comprise entre 5 et 5,5, en ajoutant goutte à goutte une solution d'acide citrique ou une base appropriée selon les besoins.

❖ **Étape 6** : Ajout du conservateur et conditionnement

Enfin, on incorpore le conservateur en respectant rigoureusement le dosage recommandé afin d'assurer l'intégrité microbiologique du shampoing (voir figure 16). Le mélange final est homogénéisé, puis conditionné dans un flacon stérile, étiqueté avec la date de fabrication et les informations pertinentes, garantissant ainsi la qualité et la traçabilité du produit jusqu'à son utilisation.



Figure 17. Ajout du conservateur

2.4.7. Rôles et propriétés des ingrédients de la formule

❖ La glycérine

La glycérine, également appelée glycérol, est un liquide incolore, visqueux, inodore et au goût sucré. Elle est obtenue principalement comme sous-produit de la saponification des huiles et des graisses. Très utilisée dans les domaines pharmaceutique, cosmétique et alimentaire, la glycérine agit comme agent hydratant, solvant et lubrifiant. Sa capacité à retenir l'eau en fait un ingrédient précieux dans les formulations cosmétiques pour maintenir l'hydratation de la peau et des cheveux [23].

❖ Le coco glucoside

Le coco glucoside est un tensioactif non ionique d'origine végétale, obtenu par la réaction entre les alcools gras dérivés de l'huile de coco et le glucose extrait du maïs ou d'autres plantes. Il est couramment utilisé dans les produits cosmétiques et d'hygiène, notamment les shampoings et les gels douche, en raison de sa douceur, de sa bonne compatibilité cutanée et de sa capacité à produire une mousse stable. Écologique et biodégradable, il est également apprécié dans les formulations naturelles [24].

❖ La gomme guar

La gomme guar est un polysaccharide naturel extrait des graines de *Cyamopsis tetragonoloba*, une légumineuse cultivée principalement en Inde et au Pakistan. Elle est utilisée comme épaississant, stabilisant et agent filmogène dans les formulations cosmétiques. Grâce à sa capacité à former des gels en milieu aqueux, la gomme guar améliore la viscosité des produits et facilite leur application sur la peau ou les cheveux. Elle est aussi reconnue pour ses propriétés conditionnantes dans les shampoings et après-shampoings [6].

❖ Cosgard

Le Cosgard, dont le nom INCI est Benzyl Alcohol et Dehydroacetic Acid, est un conservateur large spectre utilisé principalement dans les formulations cosmétiques naturelles. Il est efficace contre les bactéries, levures et moisissures, et est accepté par les labels bio tels qu'Ecocert et COSMOS. Utilisé à faible concentration (0,2 à 1,2 %), il permet de prolonger la durée de vie des produits aqueux tout en respectant les peaux sensibles [25].

2.5. Caractérisation des shampoings et fonctionnelles

2.5.1. Analyses organoléptiques

L'analyse organoleptique des différentes formulations de shampoing a été réalisée afin d'évaluer leurs caractéristiques sensorielles telles que l'aspect visuel (clarté, couleur, homogénéité), l'odeur, la texture (liquide, visqueuse, lisse) et le pouvoir moussant. L'évaluation s'est déroulée dans une pièce calme à 25 °C, avec la participation de dix volontaires sélectionnés au hasard et ayant donné leur consentement. Chaque formulation a été testée individuellement selon un protocole standard, consistant notamment à frotter une petite quantité de shampoing entre les doigts sous un filet d'eau pour juger la formation et la qualité de la mousse. Cette méthode permet une estimation qualitative de l'acceptabilité sensorielle des produits [26].

2.5.2. Analyses physico-chimiques

2.5.2.1. Détermination du pH

Le pH des shampoings a été mesuré à température ambiante (25 °C) à l'aide d'un pH-mètre électronique calibré avec des solutions tampons standards (pH 4,00 et 7,00). Cette mesure permet de s'assurer que le shampoing est adapté au cuir chevelu et n'altère pas la barrière cutanée [6].

2.5.2.2. Mesure de l'indice de réfraction

L'indice de réfraction des formulations a été déterminé à l'aide d'un réfractomètre manuel calibré, conformément aux recommandations de la norme [27]. Cette méthode, largement utilisée pour l'analyse des liquides transparents, permet d'évaluer avec précision la pureté et la concentration en substances dissoutes dans la formulation. Par ailleurs, quelques observations confirment que de légères variations de l'indice de réfraction reflètent des modifications de la composition des produits cosmétiques. Les résultats obtenus seront présentés dans le chapitre consacré aux résultats [28].

2.5.2.3. Mesure de densité

La densité des formulations de shampoing a également été déterminée à l'aide d'un cylindre gradué. Un volume précis de shampoing (généralement 10 mL) a été mesuré dans le cylindre, puis pesé à l'aide d'une balance analytique. La densité a été calculée selon la formule [29].

$$\text{Densité} \left(\frac{g}{ml} \right) = \frac{\text{masse du volume mesuré (g)}}{\text{Volume (ml)}} \quad (1)$$

2.5.2.4. Dispersion de la saleté

La dispersion de la saleté dans les formulations de shampoing a été évaluée en simulant l'application du produit sur une surface préalablement contaminée par une saleté standardisée. Cette méthode permet de mesurer l'efficacité nettoyante à travers des observations visuelles et des indicateurs spécifiques. L'évaluation a été réalisée conformément à des protocoles standardisés garantissant une analyse objective [30].

2.5.2.5. Temps de mouillage

Le temps de mouillage a été déterminé à l'aide du test de Drave, qui consiste à déposer un disque de velours (2,54 cm de diamètre, environ 0,30 g) à la surface d'une solution de shampoing

Chapitre 2 : Matériels et méthodes

diluée à 1 % (p/v). Le temps mis par le disque pour commencer à couler est chronométré et noté comme temps de mouillage. Ce test permet d'évaluer l'aptitude du shampoing à mouiller les fibres, ce qui constitue un indicateur important de performance. Plus ce temps est court, plus l'efficacité de mouillage est élevée [26].

2.5.2.6. Pouvoir détergent

Le pouvoir détergent d'un shampoing a été évalué en utilisant une méthode basée sur l'élimination d'une saleté standard (comme du sébum ou de l'huile minérale) appliquée sur une mèche de cheveux ou une surface lisse. La surface est lavée avec une solution de shampoing diluée à 1 % (p/v), puis rincée à l'eau. Le pourcentage de saleté éliminée est mesuré en pesant la surface avant et après le lavage ou à l'aide d'une méthode colorimétrique. Le pouvoir détergent est exprimé en pourcentage selon la formule :

$$\text{Pouvoir détergent (\%)} = \frac{W1 - W2}{W1} \times W1 \quad (2)$$

où W1 est le poids initial de la saleté et W2 est le poids résiduel après lavage [31].

2.5.2.7. Pouvoir moussant et stabilité de la mousse

Le pouvoir moussant des formulations de shampoing a été évalué à l'aide de la méthode du cylindre gradué. Une solution à 1 % (p/v) de shampoing a été préparée avec de l'eau distillée, puis vigoureusement agitée pendant 1 minute dans un cylindre de 100 mL fermé. Le volume de mousse formée a été immédiatement noté comme indicateur du pouvoir moussant. Pour évaluer la stabilité de la mousse, le volume de mousse restant a été mesuré après 5 minutes de repos. Un pouvoir moussant élevé et une bonne stabilité sont généralement considérés comme des indicateurs de bonne qualité perçue par les consommateurs. Cette méthode est couramment utilisée dans les études de formulations cosmétiques [32].

2.5.2.8. Évaluation factorielle des résultats expérimentaux

L'évaluation factorielle offre une meilleure compréhension de l'impact des divers facteurs de formulation sur les caractéristiques finales du shampoing. Le graphique de Pareto souligne les éléments les plus importants, alors que le schéma des interactions aide à repérer les effets mutuels

entre ces éléments [33]. Ces instruments aident à la compréhension des résultats expérimentaux et donnent la possibilité de soutenir le choix de l'option optimale sur des critères scientifiques et impartiaux. L'emploi de ces techniques augmente la précision de l'optimisation, tout en diminuant le nombre d'essais requis pour parvenir à une performance optimale [34].

2.5.3. Tests de stabilité

2.5.3.1. Tests de stabilité préliminaires

Ces essais offrent la possibilité de sélectionner l'option parfaite. L'étude de la stabilité thermique des shampoings a été effectuée en les exposant à 45°C dans des tubes en verre, puis à 4°C dans un réfrigérateur. Ces résultats ont été mis en parallèle avec ceux des mêmes shampoings conservés à température ambiante de 25°C. Avant et après les tests de stabilité préliminaires d'une durée de 24 heures, les propriétés organoleptiques, l'uniformité et le pH ont été examinés [35].

2.5.3.2. Tests de stabilité accélérée

Les changements des paramètres macroscopiques (couleur, odeur, texture, homogénéité) et du pH, ont été enregistrés après des périodes de stockage de quatre jours, deux semaines et quatre semaines de conservation à température ambiante (25°C) [35].

2.5.4. Analyses microbiologiques

L'analyse microbiologique d'un produit cosmétique comme un shampoing est essentielle pour garantir sa sécurité. Elle repose sur les normes internationales, notamment l'ISO 17516 pour les exigences de conformité, ainsi que sur les normes spécifiques (ISO 21149, ISO 16212, ISO 22717, ISO 22718, ISO 21150, ISO 18416) qui définissent les méthodes de détection des micro-organismes cibles. Cette analyse vise à détecter la présence éventuelle de micro-organismes pathogènes ou contaminants pouvant altérer la stabilité du produit ou présenter un risque pour la santé des utilisateurs. Elle consiste à rechercher et quantifier la charge microbienne totale (bactéries, levures et moisissures), ainsi que certains germes spécifiques interdits dans les produits cosmétiques, comme *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* et *Pseudomonas aeruginosa*. Le protocole opératoire est détaillé dans l'annexe 1.

Chapitre 03

RESULTATS ET DISCUSSION

Introduction

Dans le cadre de ce travail, huit formulations de shampooing naturel à base d'huile de lin ont été élaborées en suivant un plan factoriel (figure 18), dans le but d'étudier l'influence des différents paramètres de formulation. Ces échantillons ont été évalués à travers une série d'analyses rigoureuses, incluant des tests organoleptiques (aspect, odeur, texture), des tests de stabilité (à différentes températures et conditions de stockage), ainsi que des analyses physico-chimiques (pH, indice de réfraction, densité, pouvoir moussant, pouvoir lavant) et microbiologiques. L'objectif de ces évaluations est de vérifier la qualité globale des formulations et de caractériser leurs propriétés fonctionnelles, telles que le pouvoir nettoyant, la douceur pour le cuir chevelu, la mousse, et la facilité de rinçage, afin d'identifier la formulation la plus stable, efficace et adaptée à un usage cosmétique conforme aux principes de la chimie verte.



Figure 18. Les 8 formulations de shampooing

3.1. Analyses organoleptiques

Les propriétés organoleptiques d'un produit jouent un rôle primordial dans sa perception avant usage et dans son appréciation lorsqu'il est utilisé [36]. Elles ont un impact direct sur l'appréciation de la qualité et de l'efficacité du produit dès sa première mise en service. Par exemple, un shampoing doit avoir une couleur séduisante, un parfum plaisant et une consistance uniforme pour répondre aux attentes sensorielles de l'utilisateur. Une bonne uniformité visuelle indique aussi une stabilité physique et chimique de la formulation [37]. Ces paramètres sensoriels sont souvent pris en compte lors des phases de développement et de reformulation de produits cosmétiques naturels, afin d'assurer une expérience agréable tout en respectant l'intégrité des ingrédients actifs [38].

Tableau 6. Les résultats des analyses organoleptiques

| Formule | Clareté | Couleur | Odeur | Aspect | Homogénéité |
|----------------|--------------------|----------------|--------------|-----------------|--------------------|
| F1 | Claire | Blanc cassé | Neutre | Liquide, fluide | Bonne homogénéité |
| F2 | Légèrement trouble | Blanc pur | Neutre | Fluide | Très homogène |
| F3 | Claire | Blanc pur | Neutre | Fluide | Homogène |
| F4 | Claire | Blanc pur | Neutre | Liquide, fluide | Très homogène |
| F5 | Très claire | Blanc pur | Neutre | Semi-épaisse | Bonne homogénéité |
| F6 | Très claire | Blanc pur | Neutre | Fluide | Très homogène. |
| F7 | Claire | Blanc pur | Neutre | Semi-épaisse | Très homogène. |
| F8 | Très claire | Blanc pur | Neutre | Épaisse | Très homogène |

L'analyse organoleptique (Tableau 6) a montré que toutes les préparations présentaient une teinte uniforme, principalement blanche, avec une apparence légèrement translucide sans variation visuelle marquante, même avec des dosages d'huile de lin différents. Cependant, on a

observé des variations dans l'aspect des formules en fonction du taux d'huile de lin ajouté. Plus la concentration en huile était importante, plus la texture devenait crémeuse et enveloppante, comparativement aux formules plus légères contenant des quantités inférieures. Ce changement est sans doute associé à la teneur élevée en acides gras insaturés de l'huile de lin, particulièrement l'acide linoléique, qui affecte la formation de la phase huileuse et par conséquent la rhéologie du shampoing [43].

La formulation F1 se caractérise par une texture limpide, Une nuance de blanc uniforme résultant de l'absence de colorants ou d'huiles fortement pigmentées, ainsi qu'une bonne uniformité visuelle. Cependant, sa viscosité étant très basse, le shampoing présente une fluidité excessive. Cette texture peut entraver l'adhésion du produit sur le cuir chevelu lors de son application, diminuant par conséquent son efficacité perçue. Dans le domaine de la cosmétique, une viscosité trop basse pourrait indiquer une structuration micellaire partielle, mettant en péril tant la stabilité de la formulation que la satisfaction du consommateur final [39].

Dans la formulation F2, l'amélioration de la viscosité est légèrement perceptible, bien que la couleur et la clarté visuelle restent similaires à la formulation F1. Le produit devient un peu plus cohésif, Cela indique une organisation améliorée des éléments en milieu aqueux. Ce changement marque le commencement d'une stabilité colloïdale. Cette cohésion progressive permet d'atteindre une texture optimale pour les shampoings doux, assurant à la fois performance et confort d'usage [40].

Tandis que la troisième formulation F3 conservait une couleur blanche et une homogénéité stable, et la densité augmente sensiblement. Cette évolution indique une concentration accrue en substances actives ou épaississantes. La texture, cependant, reste encore relativement fluide. L'augmentation de la densité est souvent synonyme d'un enrichissement en matières fonctionnelles [37], cependant, il doit être compensé par une modification de la viscosité pour assurer la stabilité et l'efficacité globale.

La formulation F4 présente une texture plus épaisse, avec un aspect homogène et brillant. La viscosité obtenue est satisfaisante, favorisant une application agréable. Ce changement suggère une formulation mieux équilibrée entre les tensioactifs et les agents de viscosité. Une viscosité

appropriée garantit non seulement une application aisée, mais aussi une action de nettoyage améliorée grâce à une adhésion optimale aux cheveux [6].

En revanche, la formulation F5, bien qu'ayant une apparence épaisse et homogène, a montré une valeur de densité légèrement plus faible que les autres formules similaires. Cette variation pourrait être due à une distribution irrégulière de certains éléments plus lourds, ou à une petite fluctuation dans la procédure de mélange, sans que cela n'affecte la stabilité générale du produit. Dans ce contexte, la densité se révèle être un indicateur sensible de la microstructure du shampoing. Cependant, ses fluctuations mineures n'affectent pas nécessairement la qualité cosmétique du produit, pourvu que les autres critères physico-chimiques demeurent dans les limites acceptables [41].

La formulation F6 présentait une texture d'apparence normale, ni trop fluide ni trop épaisse, ce qui rendait l'application pratique et agréable. Sa couleur légèrement blanche contrastait avec la teinte jaune pâle des autres formulations, sans affecter l'homogénéité visuelle du produit. Cette consistance équilibrée suggère une structuration correcte des agents tensioactifs et des épaississants, assurant à la fois une bonne adhésion au cuir chevelu et une efficacité nettoyante satisfaisante [42].

La formulation F7 se caractérisait par une consistance légèrement plus dense que celle de l'essai 6, grâce à l'incorporation de gomme, tout en restant parfaitement équilibrée. La viscosité était assez élevée pour assurer une application contrôlée, tout en maintenant une agréable fluidité. Toujours stable, la couleur offrait une nuance blanche délicate qui contribuait à l'attrait visuel du produit tout en préservant une uniformité totale. Ce produit représentait une formulation idéale pour une utilisation régulière, combinant efficacement le nettoyage et la douceur pour le cuir chevelu. Une telle composition convient particulièrement aux cuirs chevelus délicats, procurant une sensation plaisante et un résultat satisfaisant [38].

La formulation F8 se caractérisait par une viscosité très élevée, conférant au shampoing une texture épaisse et consistante. La couleur du produit était particulièrement blanche, ce qui renforçait son aspect visuellement pur et homogène. Cette consistance dense offrait une application plus lourde, mais contrôlable, permettant une utilisation maîtrisée du produit. Bien que la texture épaisse puisse rendre l'application légèrement plus difficile, elle assurait une bonne

adhésion au cuir chevelu et un effet prolongé. Une viscosité élevée peut améliorer la stabilité du produit, mais il est important d'ajuster cette consistance pour ne pas altérer l'expérience d'utilisation au quotidien [42].

L'évaluation organoleptique a permis de confirmer la stabilité visuelle et sensorielle des différentes formulations. Les huit échantillons affichaient une bonne homogénéité, sans séparation de phase, avec un aspect lisse et une texture agréable au toucher.

Il est aussi intéressant de noter que l'incorporation graduelle d'huile n'a pas produit de senteur rance ou déplaisante, ce qui indique une adéquation optimale de l'huile avec les autres éléments de la formule ainsi qu'une conservation satisfaisante. Certaines formules riches en huile, qui présentent de discrètes notes végétales ou de noisette, peuvent en effet sublimer l'expérience sensorielle du consommateur [45].

3.2. Analyses physico-chimiques et fonctionnelles des shampoings

L'analyse physico-chimique permet d'évaluer les propriétés fondamentales du shampoing, telles que le pH, la densité, la viscosité, et la stabilité, qui sont déterminantes pour son efficacité, sa sécurité et son confort d'utilisation. Ces paramètres garantissent également la conformité du produit aux normes cosmétiques et assurent une performance optimale tout au long de sa durée de vie. Les résultats obtenus (Tableau 7) fournissent ainsi des indications précieuses sur la qualité et la stabilité de la formulation à base d'huile de lin.

Tableau 7.Analyses physico-chimiques et fonctionnelles des shampoings

| Formulations | pH | Indice de réfraction | Densité | Pouvoir détergent (%) |
|--------------|------|----------------------|---------|-----------------------|
| F1 | 4,61 | 1,366 | 1,031 | 83 |
| F2 | 4,74 | 1,370 | 1,014 | 81 |
| F3 | 5,01 | 1,368 | 1,026 | 78 |

| | | | | |
|-----------|------|-------|-------|----|
| F4 | 4,89 | 1,369 | 1,041 | 76 |
| F5 | 5,04 | 1,361 | 1,012 | 70 |
| F6 | 5,36 | 1,362 | 1,019 | 68 |
| F7 | 5,29 | 1,369 | 1,097 | 64 |
| F8 | 5,12 | 1,365 | 1,096 | 66 |

❖ pH

Le pH est un élément crucial dans l'élaboration des shampoings, car il aide à maintenir l'équilibre du cuir chevelu, fortifie le cheveu et diminue l'irritation oculaire en cas de contact accidentel dans l'élaboration des shampoings [45]. Comme le montre le tableau des résultats, les huit formulations testées, toutes enrichies en huile de lin à des pourcentages différents, présentaient un pH acide variant entre 4,6 et 5,3, ce qui reste dans la plage optimale pour les soins capillaires. Le cuir chevelu a généralement un pH physiologique qui oscille entre 4,5 et 5,5. L'usage de cosmétiques dans cette plage aide à maintenir l'équilibre de la flore cutanée et à prévenir les déséquilibres microbiens [46].

En revanche, les formulations contenant plus d'huile de lin à savoir F5, F6, F7 et F8 avaient des valeurs de pH se situant entre 5,04 et 5,3. Cette augmentation légère du pH peut être due à la composition lipidique de l'huile de lin, qui joue le rôle de stabilisateur en diminuant l'acidité des autres composants du mélange tout en préservant une certaine stabilité chimique sans passer à l'alcalinité. Les shampoings commerciaux qui sont généralement bien tolérés par la peau et les cheveux présentent un pH proche de 5, répondant ainsi aux normes cosmétiques relatives à la sécurité et à l'efficacité dermatologique [47].

La légère acidité présente dans toutes les formules contenant de l'huile de lin protège non seulement les cheveux des agressions externes, mais contribue aussi à la fermeture des cuticules, ce qui rehausse leur éclat et leur douceur au toucher. Cette caractéristique permet d'affirmer que toutes les formules évaluées sont dermo-compatibles, et leur utilisation n'entraîne aucun déséquilibre pour le cuir chevelu [45].

❖ L'indice de réfraction

L'indice de réfraction est un critère optique crucial (Figure 19) pour déterminer la pureté, l'uniformité et parfois la concentration des composés dissous dans une préparation cosmétique comme le shampoing. Lors des huit tests effectués, les indices de réfraction mesurés ont fluctué entre 1,361 et 1,370 à une température de 24,8 °C. Cela témoigne d'une remarquable stabilité colloïdale des systèmes, sans signes évidents de séparation de phases. Ce spectre indique que les compositions sont adéquatement équilibrées entre les éléments hydrophiles et lipophiles, avec une structure homogène qui favorise la clarté ou la semi-transparence du produit final [48]. Ces chiffres correspondent à ce qui est attendu pour des shampoings naturels intégrant des huiles végétales, notamment lorsqu'on utilise des émulsifiants doux pour maintenir la stabilité tout en tenant compte de la sensibilité du cuir chevelu [49].

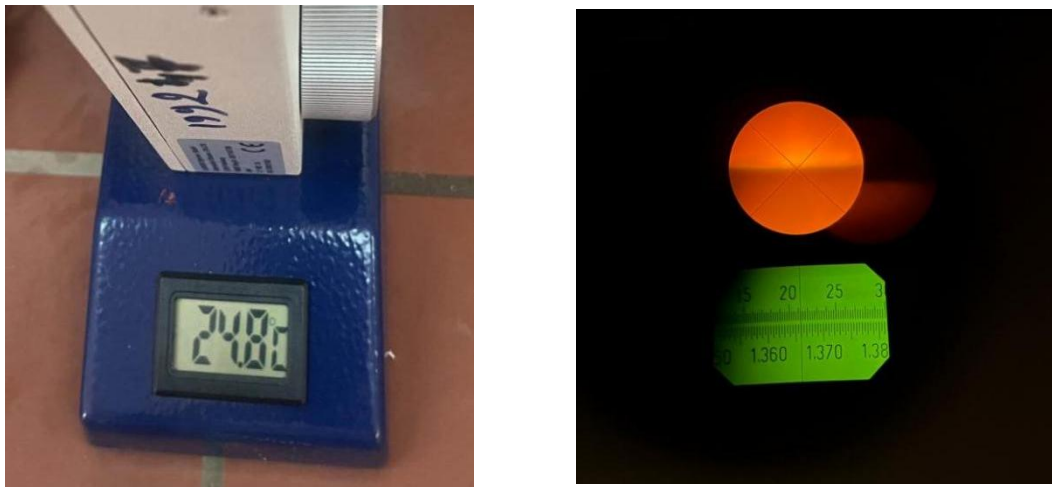


Figure 19. Mesure de l'indice de réfraction

❖ Mesure de la densité

La densité des huit shampoings formulés (figure 20) varie entre 1.012 g/mL et 1,097 g/mL, ce qui reflète des différences de composition en corps gras et agents tensioactifs. Les formulations F3,F4,F7 et F8, qui contiennent plus d'huile de lin, affichent les densités les plus importantes, un fait qui pourrait être dû à leur contenu lipidique supérieur [50].L'huile de lin, étant une huile végétale majoritairement composée de triglycérides, a tendance à accroître la densité du shampoing sans pour autant affecter sa fluidité [51].En revanche, la formule témoin, dépourvue d'huile de lin, a affiché la densité la plus faible (0,978 g/mL), traduisant une structure plus légère. Ces résultats restent dans les limites recommandées pour les shampoings cosmétiques, où la

densité se situe généralement entre 0,95 et 1,05 g/mL [50]. La densité est une mesure pratique pour juger de manière indirecte la teneur en substances actives des produits capillaires enrichis en extraits ou huiles végétales [51].

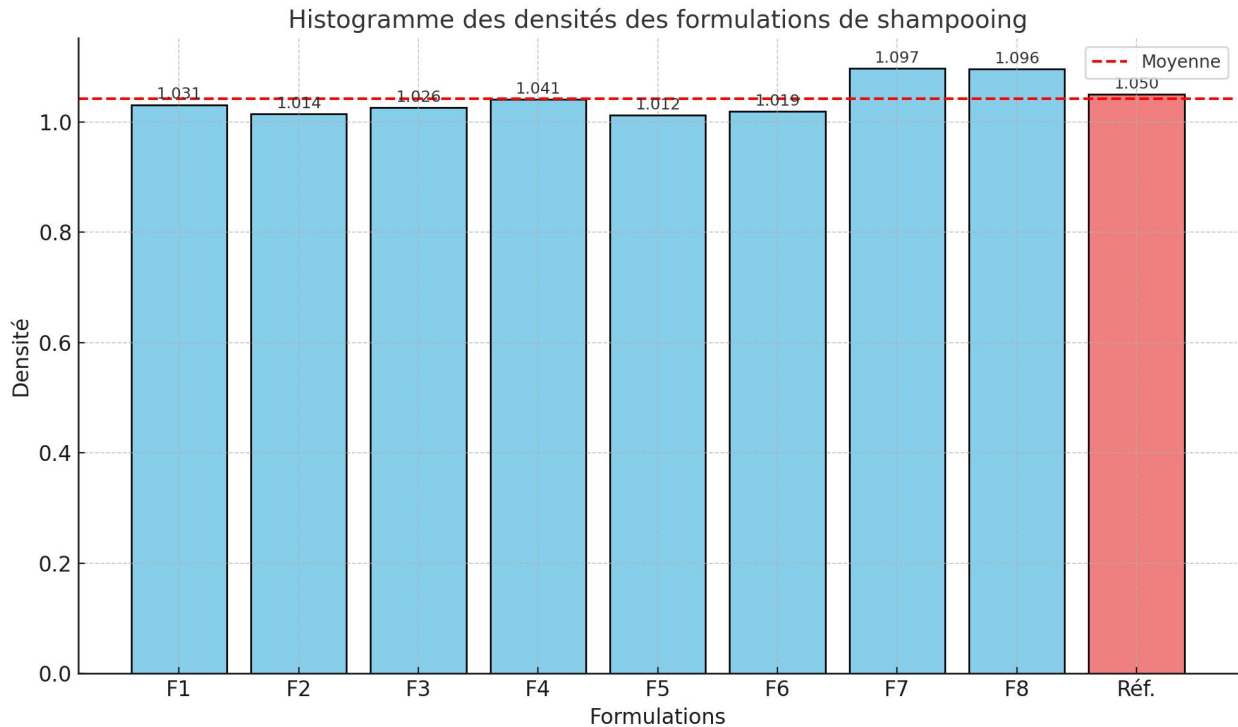


Figure 20. Histogramme représentant les valeurs de densité des échantillons de shampoing

❖ Dispersion de la saleté

La capacité de dispersion de la saleté est un critère essentiel pour évaluer l'efficacité nettoyante des shampoings (figures 21,22 et 23). Dans cette étude, toutes les formules ont montré une bonne aptitude à disperser la saleté, avec toutefois des différences selon la teneur en huile de lin. Les formules F5 à F8, contenant une concentration plus élevée en huile de lin, ont présenté une légère diminution de l'efficacité de dispersion, probablement en raison de la présence accrue de lipides qui peuvent former une légère couche protectrice hydrophobe autour des fibres capillaires [52]. En revanche, les formules qui contiennent moins d'huile de lin ont fait preuve d'une dispersion plus rapide et uniforme de la saleté. Ces conclusions appuient l'idée que l'augmentation des agents gras naturels dans les shampoings peut modestement diminuer leur pouvoir nettoyant, tout en rehaussant la douceur et la protection des cheveux [53]. De plus, la

capacité de dispersion est globalement acceptable pour toutes les formules testées, en accord avec les critères d'un shampoing cosmétique performant qui doit à la fois purifier sans endommager le cheveu [54].



Figure 21. Le poids de saleté



Figure 22. Le lavage de la saleté

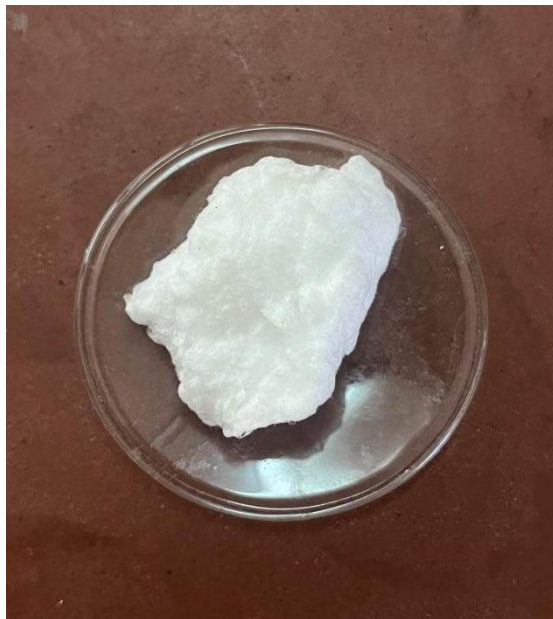


Figure 23. Dispersion de la saleté

❖ Temps de mouillage

Le temps de mouillage (figure 24) est un critère essentiel pour juger de la capacité d'un shampoing à se répartir rapidement sur la chevelure. Dans le cadre de cette recherche, toutes les formules ont affiché des temps de mouillage en dessous de 30 secondes, ce qui témoigne d'une excellente capacité de dispersion. Les shampoings incorporant de l'huile de lin (F5 à F8) ont démontré une augmentation minime du temps de trempage en comparaison aux formules moins riches, ce qui peut être dû à la concentration plus élevée en substances grasses qui entrave légèrement l'infiltration de l'eau dans les cheveux [55]. Toutefois, ce retard reste modéré et n'affecte pas la performance globale du produit, car les valeurs observées restent conformes aux standards cosmétiques recommandés pour les shampoings doux [56].



Figure 24. Temps de mouillage

La légère prolongation du temps de mouillage observée pour les compositions riches en huile de lin peut être attribuée à la nature hydrophobe des lipides, qui créent une barrière contre l'humidité sur la surface capillaire. Cette tendance est en accord avec les constatations relatives à d'autres shampoings naturels, où l'incorporation d'huiles végétales favorise la nutrition des cheveux tout en freinant légèrement l'absorption initiale de l'eau [57].

Le temps de mouillage reste cependant suffisamment rapide pour assurer une bonne facilité d'application et de rinçage, ce qui garantit le confort d'utilisation des produits.

❖ Pouvoir détergent

Le pouvoir détergent des huit compositions a été jugée sur la base de leur capacité à ôter efficacement les impuretés grasses accumulées sur les cheveux. Dans l'ensemble, toutes les compositions ont fait preuve d'une performance satisfaisante en matière de nettoyage, bien qu'il y ait des variations selon la teneur en huile de lin. Les formules F3,F4,F7 et F8, qui contiennent plus d'huile, ont montré une légère baisse du pouvoir nettoyant comparativement aux formules F1,F2,F5 et F6.Cette constatation s'accorde avec l'effet bien établi des huiles végétales, qui, tout en apportant de la nutrition aux cheveux, peuvent diminuer temporairement l'efficacité du lavage en formant une barrière lipidique protectrice [58].Néanmoins, même pour les compositions les plus élaborées, le nettoyage demeure efficace et convenable pour un usage doux sur les cheveux, répondant ainsi aux attentes des shampoings contemporains axés sur l'entretien plutôt que sur l'agression des cheveux [59].

La légère réduction du pouvoir détergeant observée dans les formules contenant des pourcentages élevés d'huile de lin est attribuable à la nature hydrophobe des corps gras, qui interfère avec l'activité des agents tensioactifs en réduisant partiellement leur capacité à solubiliser les corps gras exogènes. Toutefois, toutes les formules demeurent performantes dans des conditions d'usage standard, et l'effet hydratant procuré par l'huile compense cet inconvénient en rehaussant la texture et la condition globale des cheveux après lavage [60]. Ces résultats confirment que l'incorporation d'huiles naturelles dans les shampoings doit trouver un équilibre entre nettoyage et soin, ce qui est un enjeu fondamental pour la formulation cosmétique contemporaine.

❖ **Pouvoir moussant et stabilité de la mousse**

Toutes les huit compositions ont prouvé une remarquable capacité à mousser, produisant rapidement une mousse généreuse et durable lors des essais. Cette efficacité peut être imputée à l'utilisation de tensioactifs performants dans les formulations, qui sont en mesure de surpasser l'effet potentiellement anti-moussant des huiles végétales. Malgré l'accroissement de l'huile de lin dans les formulations F5 à F8, la qualité de la mousse a su rester très satisfaisante (figure 25), ce qui témoigne d'une excellente compatibilité entre les tensioactifs sélectionnés et les substances grasses naturelles. L'huile végétale, si correctement formulée avec des systèmes tensioactifs adaptés, n'entrave pas nécessairement la production de mousse, et peut même, dans certains cas, stabiliser la mousse en renforçant la cohésion du film liquide entourant les bulles [61].

En ce qui concerne la stabilité de la mousse, toutes les formulations ont maintenu une mousse dense, uniforme et durable pendant plusieurs minutes, sans aucun signe de défaillance rapide. Cette stabilité remarquable est cruciale pour assurer une perception de qualité favorable par les utilisateurs, étant donné qu'une mousse pérenne est généralement liée à une action de nettoyage efficace et à une plus grande douceur sur le cuir chevelu.

La consistance de la mousse dans les produits de nettoyage est considérablement affectée par la viscosité du liquide interstitiel et le type de tensioactifs, une viscosité moyenne facilitant une meilleure conservation des bulles et freinant leur fusion [62].

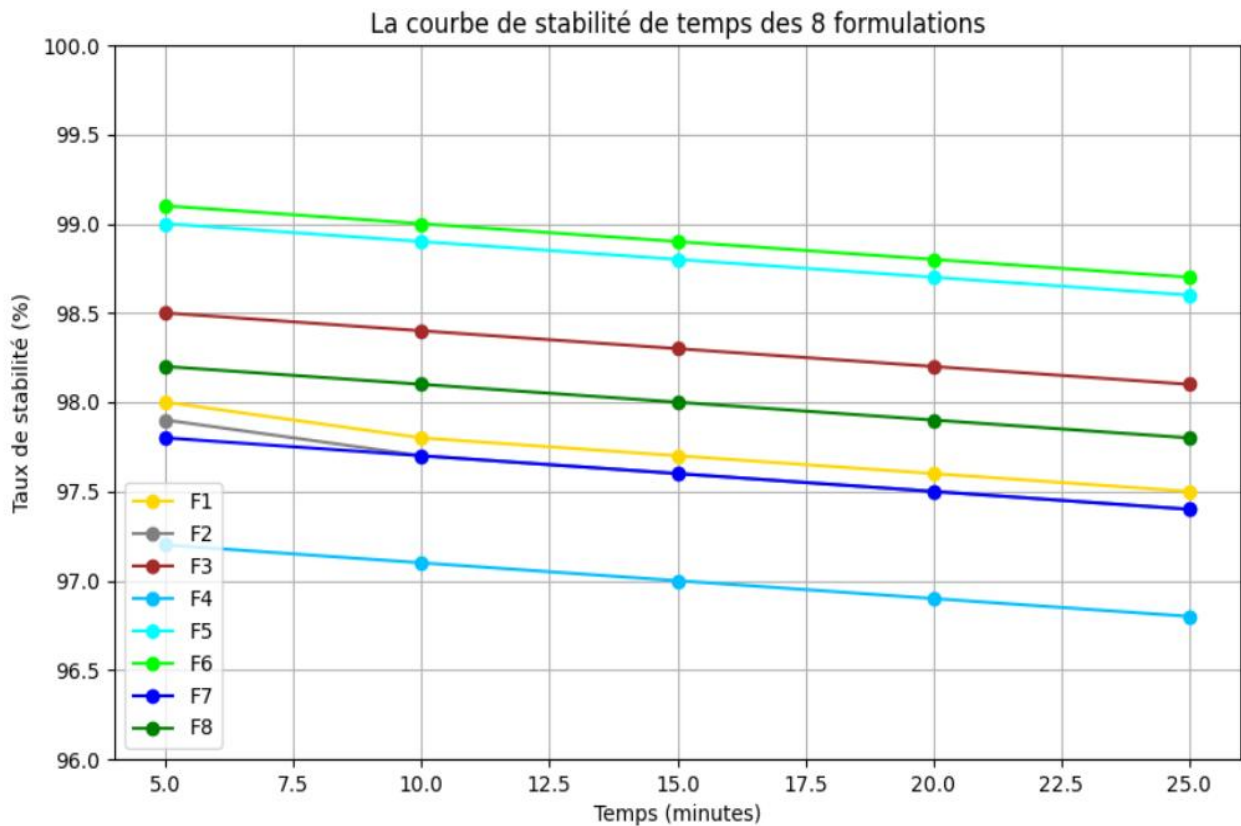


Figure 25. Courbe de stabilité de la mousse pour les 8 formulations

❖ Évaluation factorielle des résultats expérimentaux

L'analyse factorielle, effectuée grâce à l'analyse de Pareto (figures 26 et 27) et au diagramme d'interactions (figure 28), a servi à déterminer les facteurs ayant le plus d'impact sur la performance des formules testées. Le graphique de Pareto indique que des variables telles que le taux de tensioactif ou la concentration en gomme influencent principalement les caractéristiques du shampoing, y compris sa viscosité et sa capacité à mousser. Le schéma des interactions indique que l'influence de certains éléments peut fluctuer en fonction du niveau d'un autre, ce qui met en évidence la nécessité d'une optimisation conjointe des variables. Ces résultats corroborent l'importance de la méthode statistique pour guider la sélection d'une formule optimale [63].

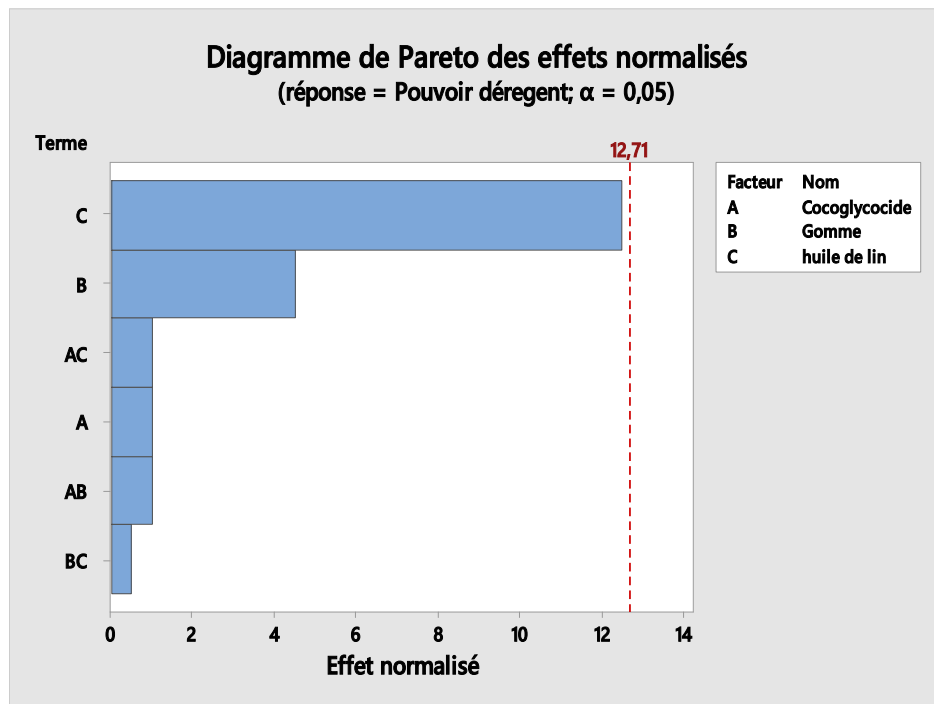


Figure 26. Diagramme de Pareto des effets normalisés

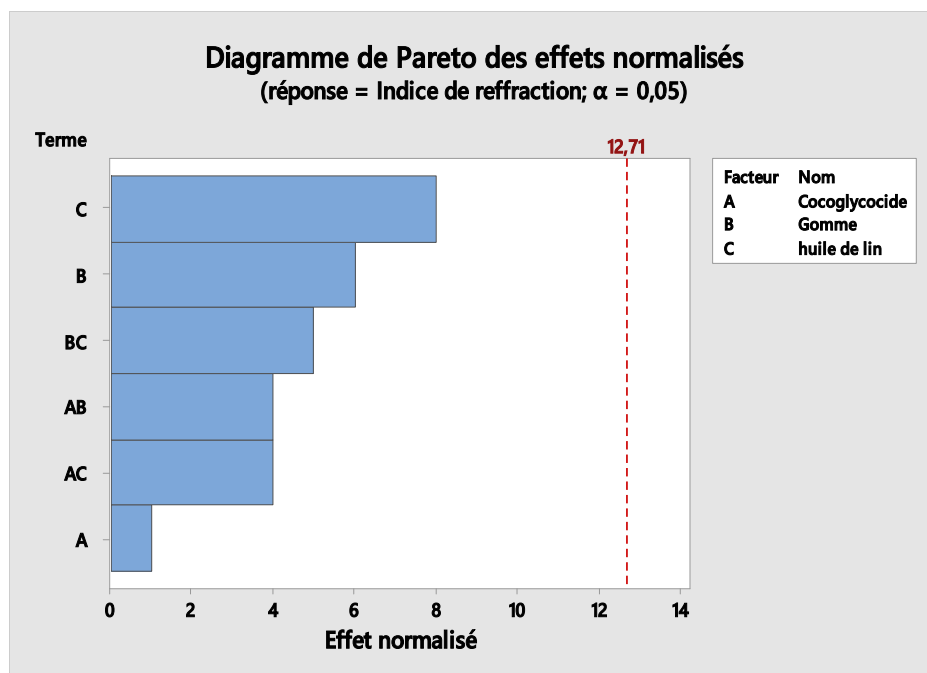


Figure 27. Diagramme de Pareto des effets normalisés

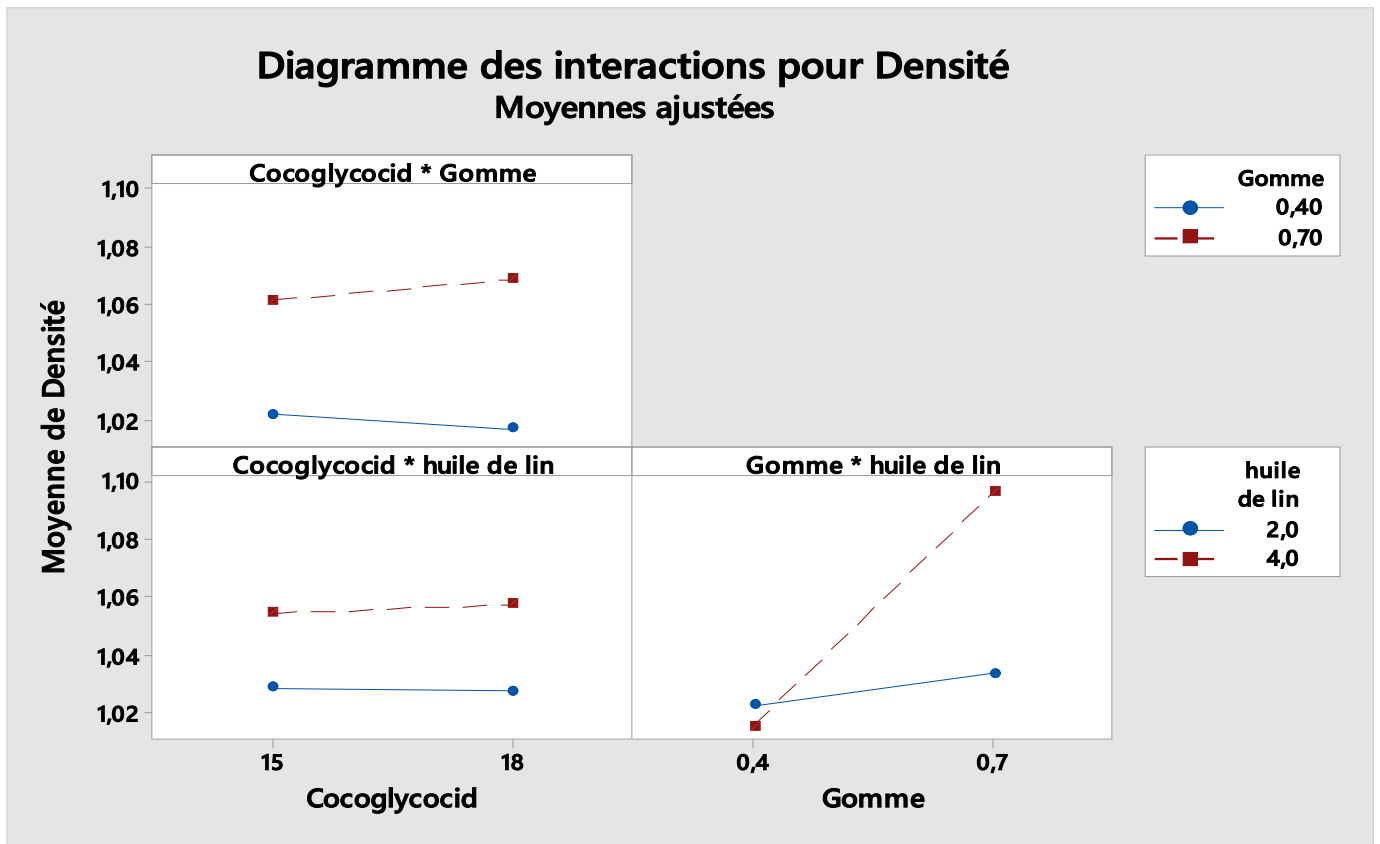


Figure 28. Diagramme des interactions pour la Densité

❖ Tests de stabilité

Les tests de stabilité sont indispensables en raison de leur rôle prédictif. Il s'agit de soumettre les formulations à des conditions accélérées susceptibles d'entraîner des modifications qui pourraient se produire durant le stockage et la vente. Même si les résultats ne sont pas entièrement définitifs, ils présentent un fort potentiel pour anticiper le comportement futur du produit et facilitent le choix de la formule la plus stable et appropriée [64].

❖ **Tests de stabilité préliminaires (stabilité au stress thermique et à la congélation)**

Lors du test de stabilité préliminaire, les huit formules de shampoing ont été exposées à des cycles de stress thermique et de congélation dans le but d'examiner leur robustesse face aux fluctuations extrêmes de température. Suite à plusieurs cycles, on n'a constaté aucune séparation de phase, aucun changement significatif de couleur ou précipitation visible à l'égard de toutes les formules. Ces résultats montrent une homogénéité satisfaisante des émulsions et une stabilité physique remarquable même dans des conditions difficiles. Ce comportement indique que les décisions relatives à la formulation, en particulier l'incorporation graduelle de l'huile de lin et l'amélioration des agents tensioactifs, ont conduit à la réalisation de structures solides et résistantes à des contraintes thermiques [65]. Ainsi, toutes les formules peuvent être considérées comme techniquement stables lors de leur stockage et de leur transport.

❖ **Tests de stabilité accélérés**

Dans le cadre du développement des shampoings formulés, Un test de stabilité accélérée a été effectué afin d'apprécier la robustesse des différentes formulations sous des conditions extrêmes imitant une longue durée de stockage. Cette épreuve implique de soumettre les échantillons à des températures hautes et basses (40°C et 4°C), ainsi qu'à des alternances de température, dans le but d'accélérer les réactions susceptibles d'influer sur la stabilité de la formulation [66].

Les observations effectuées indiquent que toutes les formulations examinées ont conservé de façon constante leurs caractéristiques organoleptiques pendant toute la durée des tests. Il n'a été observé aucune séparation de phase ou changement notable de couleur suite à une exposition à des températures extrêmes, qu'elles soient hautes ou basses, sur une durée de 30 jours. Les compositions contenant une plus grande quantité d'huile de lin (F5, F6, F7 et F8) ont légèrement démontré une augmentation de la couleur, généralement due à l'effet stabilisant des lipides qui contribue à la stabilité visuelle du produit lors d'une pression thermique. En outre, on n'a observé aucune diminution notable de la viscosité, ce qui témoigne du fait que la texture de ces préparations demeure stable même sous des conditions de conservation extrêmes. En ce qui concerne le pH, une légère baisse a été observée dans toutes les formulations, bien que ces

changements soient négligeables, confirmant la résistance globale des formules dans des conditions de stockage rigoureuses [65]. Ces résultats suggèrent que les shampoings à base d’huile de lin sont stables et peuvent être considérés comme adaptés à un usage commercial, même après une période prolongée d’entreposage dans des conditions variables de température.

3.3. Analyses microbiologiques

L’ensemble des huit formulations testées (Tableau 8) a montré l’absence totale de germes aérobies mésophiles, de levures et moisissures, ainsi que des micro-organismes pathogènes spécifiques recherchés, à savoir *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli* et *Candida albicans*. Ces résultats confirment la conformité microbiologique des produits selon les exigences des normes ISO 17516 et garantissent leur sécurité d’utilisation

Tableau 8.Résultats des analyses microbiologiques

| | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 | F6 | F7 | F8 |
|-------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Germes aérobies mésophiles | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Levures et moisissures | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Staphylococcus aureus</i> | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Pseudomonas aeruginosa</i> | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Escherichia coli</i> | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Candida albicans</i> | - | - | - | - | - | - | - | - |

- : absence de germes

Chapitre 04

STARTUP :

**PRODUCTION D'UN SHAMPOING
NATUREL A BASE D'HUILE DE LIN**

Introduction

Dans une perspective de valorisation des résultats obtenus et de transfert vers le monde socio-économique, cette dernière partie du travail est consacrée au lancement d'une start-up dédiée à la production d'un shampooing naturel à base d'huile de lin. Ce projet entrepreneurial vise à répondre à une demande croissante en produits cosmétiques naturels, respectueux de la santé et de l'environnement. Il s'inscrit dans une logique d'innovation durable, en intégrant les principes de la chimie verte, tout en mettant en valeur un ingrédient local aux propriétés reconnues : l'huile de lin

4.1. Présentation du projet

Ce premier axe vise à introduire le projet de création d'une startup centrée sur la formulation et la commercialisation d'un shampooing naturel à base d'huile de lin. Il permet de présenter l'idée générale, les objectifs, les valeurs du projet, les membres de l'équipe ainsi que le calendrier prévisionnel de mise en œuvre.

4.1.1. Idée du projet (la solution proposée)

Le projet consiste à développer une gamme de shampooings naturels, écologiques et respectueux du cuir chevelu, formulés à partir d'ingrédients bio-sourcés, comme ingrédient actif principal l'huile de lin.

L'objectif est de répondre à la demande croissante des consommateurs pour des produits capillaires sains, sans sulfates, ni silicones, ni conservateurs agressifs.

Cette solution se distingue par sa composition naturelle, sa biodégradabilité, et sa compatibilité avec les cuirs chevelus sensibles. L'huile de lin, riche en acides gras oméga-3, est reconnue pour ses propriétés nourrissantes, réparatrices et adoucissantes pour les cheveux.

4.1.2. Valeurs proposées

❖ **Naturalité** : utilisation d'ingrédients végétaux et biodégradables.

- ❖ **Bien-être capillaire** : formules douces adaptées à tous types de cheveux.
- ❖ **Respect de l'environnement** : emballages éco-conçus et processus de fabrication durable.
- ❖ **Accessibilité** : offrir un produit de qualité à un prix compétitif.
- ❖ **Innovation locale** : valorisation des ressources naturelles locales (huile de lin).

4.1.3. Équipe projet

L'équipe est composée d'une étudiante en génie chimique, porteuse du projet, ayant mené des recherches approfondies sur la formulation cosmétique naturelle.

Les compétences principales de l'équipe incluent

- ❖ La formulation cosmétique (connaissance des ingrédients, stabilité, efficacité)
- ❖ Le contrôle qualité (tests physico-chimiques et sensoriels)
- ❖ Le marketing (étude de marché, positionnement produit)
- ❖ La gestion de projet (planification, gestion financière)

Des partenariats sont envisagés avec des laboratoires locaux, des fournisseurs d'ingrédients naturels, et éventuellement des incubateurs ou structures d'accompagnement.

4.1.4. Objectifs du projet

- ❖ **Court terme** : finaliser la formulation, créer un prototype stable, réaliser les tests qualité.
- ❖ **Moyen terme** : lancer une petite production locale, valider l'intérêt du marché via un test de commercialisation (marchés artisanaux, réseaux sociaux).
- ❖ **Long terme** : industrialiser le processus, développer une marque propre, étendre la gamme (masques, huiles, après-shampoings naturels), et viser l'exportation.

4.1.5. Calendrier de réalisation du projet

Le calendrier de réalisation du projet présente les différentes étapes clés planifiées tout au long du déroulement du travail (Tableau 9), depuis la phase de recherche bibliographique jusqu'à la

formulation, les analyses, et la valorisation des résultats. Il permet de visualiser la répartition temporelle des activités et d'assurer un suivi rigoureux du bon avancement du projet.

Tableau 9.Calendrier de réalisation du projet

| Tâches / Mois | Mois 1 | Mois 2 | Mois 3 | Mois 4 | Mois 5 | Mois 6 | Mois 7 | Mois 8 | Mois 9 |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Recherche et Formulation | X | X | | | | | | | |
| Réalisation du prototype | | | X | | | | | | |
| Études de marché | | | | X | X | | | | |
| Certifications | | | | | | X | | | |
| Production pilote | | | | | | | X | X | |
| Lancement commercial | | | | | | | | | X |

4.2. Les aspects innovants du projet

La nature des innovations intégrées dans le projet **Pure Nature** se situe principalement dans le domaine de l'**innovation croissante**, car il s'agit de l'amélioration d'un produit existant (le shampooing) par l'utilisation d'ingrédients naturels, doux et d'origine locale, notamment l'huile de lin, connue pour ses vertus nourrissantes et réparatrices pour les cheveux. Cette innovation vise à proposer une alternative plus saine et plus respectueuse du cuir chevelu, sans tensioactifs agressifs ni additifs chimiques. En parallèle, le projet introduit également une **innovation de marché**, en répondant à une demande croissante pour les soins capillaires naturels, artisanaux et écoresponsables. Il cible un nouveau segment de consommateurs : les personnes soucieuses de leur santé, de l'environnement, et en quête de produits adaptés aux cheveux secs, bouclés ou abîmés. Ainsi, **Pure Nature** s'inscrit dans une dynamique d'innovation durable à la fois par la formulation, le positionnement et l'engagement local.

4.2.1. Domaines d'innovation

4.2.1.1. Innovation produit

Le principal caractère innovant du projet réside dans la formulation d'un shampoing liquide naturel à base d'huile de lin, un ingrédient encore peu exploité dans les soins capillaires. Riche en acides gras essentiels et en antioxydants, l'huile de lin confère au produit des propriétés nourrissantes et réparatrices intéressantes, tout en respectant l'équilibre du cuir chevelu.

L'innovation repose également sur :

- L'utilisation d'ingrédients biodégradables, sans sulfates, sans silicones ni conservateurs controversés.
- Une formulation douce adaptée aux cuirs chevelus sensibles et respectueuse de l'environnement.
- Une texture fluide et agréable, obtenue grâce à une synergie entre tensioactif doux (coco-glucoside) et agent gélifiant (gomme xanthane).

4.2.1.2. Innovation écologique

Le projet adopte une démarche éco-responsable à travers :

- La sélection de matières premières locales et naturelles (notamment l'huile de lin algérienne pressée à froid).
- La limitation des déchets plastiques via le choix d'un packaging recyclable ou rechargeable.
- La fabrication artisanale à petite échelle, avec une consommation énergétique réduite.

4.2.1.3. Innovation marketing et positionnement

Le projet se distingue également par un positionnement différencié :

- Une mise en avant des ingrédients naturels locaux, valorisant le patrimoine végétal algérien.
- Une communication éducative axée sur la transparence, l'origine des ingrédients et la sensibilisation à une cosmétique plus saine.
- Un design visuel moderne et épuré, qui attire une clientèle jeune, urbaine et informée.

4.2.1.4. Innovation sociale

Enfin, le projet intègre une dimension sociale à travers :

- ❖ L'idée de collaborer avec des coopératives locales de femmes pour l'extraction de l'huile de lin.
- ❖ Une volonté de soutenir l'entrepreneuriat féminin et rural.
- ❖ L'organisation d'ateliers de sensibilisation sur les cosmétiques naturels.

4.3. Analyse stratégique du marché

L'analyse du marché constitue une étape cruciale dans la mise en œuvre d'un projet entrepreneurial. Elle permet d'évaluer la faisabilité commerciale du produit, d'identifier les tendances de consommation, de cerner les attentes du public cible et d'anticiper les dynamiques concurrentielles. Cette section présente une vision complète du marché ciblé pour le shampoing naturel à base d'huile de lin.

4.3.1. Analyse de la demande

Les produits cosmétiques naturels connaissent un essor important, porté par une prise de conscience croissante des consommateurs sur la composition des produits qu'ils utilisent. Le shampoing naturel, sans sulfates ni silicones, s'intègre parfaitement dans cette tendance.

Le public cible comprend principalement :

- Les femmes et les hommes à la recherche de produits plus sains pour leurs cheveux,
- Les personnes souffrant d'irritations du cuir chevelu ou sensibles aux produits chimiques,
- Les consommateurs soucieux de l'environnement et privilégiant les produits locaux ou artisanaux.

Les consommateurs recherchent :

- Des formules douces, respectueuses du cuir chevelu,

- Des ingrédients naturels et traçables,
- Des produits éthiques, non testés sur les animaux, et respectueux de l'environnement.

4.3.2. Analyse de la concurrence

Le marché des soins capillaires naturels est en pleine expansion, avec plusieurs types d'acteurs :

- ❖ Les marques industrielles internationales, souvent bien implantées mais plus coûteuses
- ❖ Les petites marques locales artisanales, souvent limitées en termes de distribution,
- ❖ Les produits faits maison, vendus dans des circuits courts ou sur les réseaux sociaux.

Le projet se distingue par :

- ✓ L'utilisation d'un ingrédient local spécifique : l'huile de lin,
- ✓ Une formulation équilibrée et testée,
- ✓ Une volonté de proposer un produit stable et accessible à un large public,
- ✓ Une démarche entrepreneuriale encadrée, visant à évoluer vers une production semi-industrielle.

4.4. Plan de production et d'organisation

Ce volet présente l'ensemble des moyens humains, matériels et organisationnels nécessaires pour transformer l'idée du projet en une réalité concrète et opérationnelle. Il s'agit de définir comment le shampooing naturel à base d'huile de lin sera produit, conditionné, contrôlé et commercialisé.

4.4.1. Processus de production et organisation

La production du shampooing suit une série d'étapes rigoureuses visant à garantir la qualité du produit final. Ces étapes incluent :

- ❖ **Préparation des matières premières :**

Pesée précise des ingrédients : huile de lin, coco-glucoside, gomme xanthane, glycérine, eau distillée, conservateur.

Vérification de la qualité et de la traçabilité des matières.

❖ **Mélange :**

Ajout progressif de la gomme xanthane dans l'eau pour former le gel.

Incorporation du tensioactif (coco-glucoside) dans l'eau.

Intégration de l'huile de lin et de la glycérine sous agitation lente.

Ajout du conservateur en fin de formulation.

❖ **Contrôle de la formulation :**

Mesure du **pH** (doit être entre 4,5 et 6,5).

Vérification de la **viscosité** et de la **texture**.

Contrôle visuel, olfactif et organoleptique.

❖ **Conditionnement :**

Transfert dans des flacons propres et stériles.

Étiquetage avec toutes les informations réglementaires (INCI, date, lot...).

❖ **Stockage :**

Stockage dans un endroit frais, à l'abri de la lumière.

4.4.2. Matériel nécessaire

Cette section énumère l'ensemble du matériel utilisé au cours de la réalisation du projet (Tableau 10), aussi bien pour la formulation des shampooings que pour la conduite des différentes analyses. Elle comprend les équipements de laboratoire, les verreries, ainsi que les instruments spécifiques indispensables au bon déroulement des expériences.

Tableau 10.Matériel nécessaire

| Matériel | Description |
|--|------------------------------------|
| Agitateur magnétique ou mélangeur manuel | Pour assurer un mélange homogène |
| Balance de précision | Pour peser les ingrédients |
| pH-mètre | Pour ajuster le pH |
| Flacons en plastique ou en verre | Pour le conditionnement |
| Entonnoir, béciers, spatules | Ustensiles de formulation |
| Étiqueteuse manuelle | Pour l'identification des produits |

4.4.3. Organisation humaine

Le projet, en phase initiale, peut être conduit par une équipe réduite, composée de :

- **Le porteur de projet** : responsable de la formulation, production, suivi qualité, communication.
- **Un assistant ou stagiaire** (éventuel) : pour aider à la fabrication et à la logistique.
- **Un consultant ou mentor externe** : pour encadrer la structuration du projet, notamment au niveau réglementaire et marketing.

À mesure que le projet évolue, des recrutements ciblés pourront être envisagés : opérateur de production, commercial, responsable qualité, etc.

4.4.4. Lieu de production

- ❖ En phase expérimentale :

Production artisanale à petite échelle, dans un laboratoire cosmétique ou un espace conforme aux normes d'hygiène.

- ❖ À moyen terme :

Location d'un atelier partagé ou d'un local de production équipé, selon les normes de l'ANPP (Agence Nationale des Produits Pharmaceutiques) ou des BPF (Bonnes Pratiques de Fabrication).

4.5. Plan financier

4.5.1. État d'investissement prévisionnel

Le tableau 11 présente les investissements initiaux nécessaires au lancement de l'activité de production du shampooing naturel. Il inclut les équipements, les frais de lancement et les immobilisations. Il permet d'avoir une vue globale sur les dépenses initiales et leur impact sur les cinq premières années.

Tableau 11. État d'investissement prévisionnel

| Équipement / Frais | Montant brut (DZD) | N+1 | N+2 | N+3 | N+4 | N+5 |
|-------------------------------|--------------------|----------------|-----|-----|-----|-----|
| Balance de précision | 235 200 | 235 200 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Agitateur magnétique | 149 990 | 149 990 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| pH-mètre | 133 875 | 133 875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Identité visuelle | 20 000 | 20 000 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Création d'entreprise (frais) | 50 000 | 50 000 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Local (aménagement de base) | 245 000 | 245 000 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 834 065 | 834 065 | 0 | 0 | 0 | 0 |

4.5.2. Les amortissements

Le tableau 12 détaille la répartition de l'amortissement des équipements sur la durée de leur utilisation. L'amortissement permet de lisser le coût des biens immobilisés sur plusieurs années, afin de refléter leur perte de valeur dans les comptes de l'entreprise.

Tableau 11.Les amortissements

| Équipement | Montant brut (DZD) | Durée d'amortissements (ans) | Taux (%) | N+1 | N+2 | N+3 | N+4 | N+5 |
|----------------------|--------------------|------------------------------|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Balance de précision | 235 200 | 5 | 20 | 47 040 | 47 040 | 47 040 | 47 040 | 47 040 |
| Agitateur magnétique | 149 990 | 5 | 20 | 29 998 | 29 998 | 29 998 | 29 998 | 29 998 |
| pH-mètre | 133 875 | 5 | 20 | 26 775 | 26 775 | 26 775 | 26 775 | 26 775 |
| Identité visuelle | 20 000 | 3 | 33,33 | 6 667 | 6 667 | 6 666 | 0 | 0 |
| Aménagement du local | 245 000 | 5 | 20 | 49 000 | 49 000 | 49 000 | 49 000 | 49 000 |
| Total annuel | 834 065 | | | 159 480 | 159 480 | 159 479 | 152 813 | 152 813 |

4.5.3. Les charges annuelles

Le tableau 13 récapitule toutes les charges nécessaires au fonctionnement de l'activité : charges fixes (loyer, salaires, électricité, etc.) et charges variables (matières premières, emballages, etc.). Il permet d'analyser le niveau de dépenses annuel et d'évaluer la rentabilité du projet.

Tableau 12.Les charges annuelles

| Type de charge | N+1 | N+2 | N+3 | N+4 | N+5 |
|----------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Charges fixes | | | | | |
| Loyer (50 000 × 12) | 600 000 | 600 000 | 600 000 | 600 000 | 600 000 |
| Électricité et eau | 120 000 | 130 000 | 140 000 | 160 000 | 180 000 |
| Salaires | 300 000 | 400 000 | 500 000 | 520 000 | 540 000 |
| Marketing et publicité | 200 000 | 300 000 | 400 000 | 500 000 | 600 000 |
| Total charges fixes | 1 220 000 | 1 430 000 | 1 640 000 | 1 780 000 | 1 920 000 |
| Charges variables | | | | | |

| | | | | | |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Matières premières (120 DZD/unité × 12 000 unités) | 1 440 000 | 1 560 000 | 1 680 000 | 1 800 000 | 1 920 000 |
| Flacons et étiquettes (30 DZD/unité × 12 000 unités) | 360 000 | 390 000 | 420 000 | 450 000 | 480 000 |
| Transport et distribution | 250 000 | 270 000 | 300 000 | 320 000 | 350 000 |
| Total charges variables | 2 050 000 | 2 220 000 | 2 400 000 | 2 570 000 | 2 750 000 |
| Total général | 3 270 000 | 3 650 000 | 4 040 000 | 4 350 000 | 4 670 000 |

4.5.4. Chiffre d'affaires

Le chiffre d'affaires (Tableau 14) du projet est calculé à partir de la vente de shampoings naturels à base d'huile de lin, vendus au prix unitaire de **650 DZD**. En N+1, le volume de vente prévu est de **12 000 unités**, ce qui génère un chiffre d'affaires de **7 800 000 DZD**.

Ce chiffre évolue progressivement chaque année, en suivant une stratégie de croissance maîtrisée, avec une augmentation annuelle de 1 000 unités environ. Ainsi, le chiffre d'affaires passe à **8 450 000 DZD en N+2**, pour atteindre **10 000 000 DZD en N+5**.

Cette croissance est soutenue par des actions marketing ciblées, l'amélioration de la notoriété de la marque, et l'augmentation progressive de la capacité de production

Tableau 13. Chiffres d'affaires.

| Année | Année 1 | Année 2 | Année 3 | Année 4 | Année 5 |
|---------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
| Unités vendues | 12 000 | 13 000 | 14 000 | 15 000 | 16 000 |
| Prix unitaire (DZD) | 650 | 650 | 650 | 650 | 650 |
| Chiffre d'affaires (DZD) | 7 800 000 | 8 450 000 | 9 100 000 | 9 750 000 | 10 400 000 |

4.5.5. Capacité d'Autofinancement (CAF)

Afin d'évaluer la performance financière du projet et sa capacité à générer des ressources internes, nous avons établi un tableau prévisionnel (Tableau 15) de la **Capacité d'Autofinancement (CAF)** sur une période de cinq ans. Ce tableau prend en compte le chiffre

d'affaires estimé, les charges variables et fixes, ainsi que les dotations aux amortissements. La CAF permet de mesurer les flux financiers disponibles pour financer les investissements futurs, rembourser les emprunts éventuels ou renforcer la trésorerie de l'entreprise.

Tableau 14.La capacité d'autofinancement

| Année | N+1 | N+2 | N+3 | N+4 | N+5 |
|-------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Chiffre d'affaires (DZD) | 7 800 000 | 8 450 000 | 9 100 000 | 9 750 000 | 10 400 000 |
| Total des charges (DZD) | 3 270 000 | 3 650 000 | 4 040 000 | 4 350 000 | 4 670 000 |
| Amortissements (DZD) | 107 413 | 107 413 | 107 413 | 107 413 | 107 413 |
| Résultat brut (avant impôt) | 4 530 000 | 4 800 000 | 5 060 000 | 5 400 000 | 5 730 000 |
| IBS (26%) | 1 177 800 | 1 248 000 | 1 315 600 | 1 404 000 | 1 489 800 |
| Résultat net (DZD) | 3 352 200 | 3 552 000 | 3 744 400 | 3 996 000 | 4 240 200 |
| Dotations aux amortissements | 107 413 | 107 413 | 107 413 | 107 413 | 107 413 |
| CAF (DZD) | 3 632 726 | 3 901 828 | 4 171 927 | 4 501 227 | 4 830 527 |

4.5.6. Plan de Financement Prévisionnel

Le bilan prévisionnel sur cinq ans permet de présenter une vision globale de la santé financière du projet « Pure Nature ». Il détaille l'ensemble des ressources mobilisées (passif) et des investissements réalisés (actif) pour assurer le bon fonctionnement de l'activité.

Le tableau 16 met en évidence la structure financière de l'entreprise, en distinguant les immobilisations, les stocks, la trésorerie, ainsi que les capitaux propres, les emprunts, les subventions et les dettes à court terme.

L'équilibre entre l'actif et le passif reflète la cohérence du montage financier, ainsi que la capacité du projet à générer des ressources durables dans le temps.

Tableau 15. Plan de financement prévisionnel

| POSTES | Année 1 | Année 2 | Année 3 | Année 4 | Année 5 |
|---------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| ACTIF | | | | | |
| Immobilisations corporelles | 599 065 | 599 065 | 599 065 | 599 065 | 599 065 |
| Immobilisations incorporelles | 20 000 | 20 000 | 20 000 | 20 000 | 20 000 |
| Immobilisations financières | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Stocks (matières premières, produits) | 420 000 | 450 000 | 480 000 | 500 000 | 520 000 |
| Créances clients | 0 | 150 000 | 200 000 | 250 000 | 300 000 |
| Trésorerie active (en banque, caisse) | 4 002 200 | 3 982 935 | 3 995 335 | 4 056 935 | 4 101 135 |
| Total ACTIF | 5 041 265 | 5 202 000 | 5 294 400 | 5 426 000 | 5 540 200 |
| PASSIVE | | | | | |
| Capitaux propres | 500 000 | 500 000 | 500 000 | 500 000 | 500 000 |
| Résultat de l'exercice | 3 352 200 | 3 552 000 | 3 744 400 | 3 996 000 | 4 240 200 |
| Subvention publique | 500 000 | 500 000 | 500 000 | 500 000 | 500 000 |
| Emprunts bancaires | 689 065 | 550 000 | 400 000 | 250 000 | 100 000 |
| Dettes fournisseurs | 0 | 100 000 | 150 000 | 180 000 | 200 000 |
| Total PASSIF | 5 041 265 | 5 202 000 | 5 294 400 | 5 426 000 | 5 540 200 |

4.5.7. Compte de Résultat Prévisionnel

Le compte de résultat prévisionnel présente la performance économique attendue de notre projet sur une période de cinq ans (Tableau 17). Il détaille les différentes étapes de la formation du résultat, depuis le chiffre d'affaires jusqu'au résultat net, en passant par les charges d'exploitation, les amortissements et les charges financières.

Ce document est essentiel pour évaluer la rentabilité future de l'entreprise, anticiper les

bénéfices et ajuster la stratégie en fonction des prévisions financières. Il permet également de comprendre l'impact des charges fixes et variables sur la profitabilité du projet.

Tableau 16.Compte de Résultat Prévisionnel

| POSTES | Année 1 | Année 2 | Année 3 | Année 4 | Année 5 |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|
| VENTE ET PRODUCTION ANNEXE | | | | | |
| Chiffre d'affaires | 7 800 000 | 8 450 000 | 9 100 000 | 9 750 000 | 10 400 000 |
| PRODUCTION DE L'EXERCICE | | | | | |
| Achats consommés | -1 800 000 | -1 900 000 | -2 000 000 | -2 100 000 | -2 200 000 |
| Services extérieurs et autres consommations | -420 000 | -460 000 | -480 000 | -500 000 | -520 000 |
| CONSOMMATION DE L'EXERCICE | -2 220 000 | -2 360 000 | -2 480 000 | -2 600 000 | -2 720 000 |
| VALEUR AJOUTÉE D'EXPLOITATION | 5 580 000 | 6 090 000 | 6 620 000 | 7 150 000 | 7 680 000 |
| Charges de personnel | -300 000 | -400 000 | -500 000 | -520 000 | -540 000 |
| Impôts, taxes et versements assimilés | -50 000 | -60 000 | -70 000 | -80 000 | -90 000 |
| EXCÉDENT BRUT D'EXPLOITATION | 5 230 000 | 5 630 000 | 6 050 000 | 6 550 000 | 7 050 000 |
| Autres produits opérationnels | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Autres charges opérationnelles | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Dotations aux amortissements | -107 413 | -107 413 | -107 413 | -107 413 | -107 413 |
| RÉSULTAT OPÉRATIONNEL | 5 122 587 | 5 522 587 | 5 942 587 | 6 442 587 | 6 942 587 |
| Produits financiers | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Charges financières | -100 000 | -80 000 | -60 000 | -40 000 | -20 000 |
| RÉSULTAT FINANCIER | -100 000 | -80 000 | -60 000 | -40 000 | -20 000 |
| RÉSULTAT ORDINAIRE AVANT IMPÔTS | 5 022 587 | 5 442 587 | 5 882 587 | 6 402 587 | 6 922 587 |
| Impôts exigibles sur résultats ordinaires | -1 670 387 | -1 796 043 | -1 941 697 | -2 116 853 | -2 292 694 |
| RÉSULTAT NET DES ACTIVITÉS ORDINAIRES | 3 352 200 | 3 646 544 | 3 940 890 | 4 285 734 | 4 629 893 |

4.5.8. Business Model Canvas (BMC)

Dans un contexte économique en constante évolution, il est primordial de structurer précisément le modèle d'affaires afin d'assurer la viabilité et la pérennité du projet.

Tableau 17.Le BM

| | | | | |
|--|---|--|--|---|
| <p>Partenaires clés Coopératives locales de lin. Fournisseurs de matières premières naturelles. Laboratoires d'analyse (université ou privé). Incubateurs de start-up. Influenceurs dans le domaine du naturel. Pharmacies et magasins bio. Laboratoire pour tests physico-chimiques et microbiologiques.</p> | <p>Activités clés Achats de matières premières Formulation et tests de stabilité . Production et mise en flacon. Contrôle qualité. Emballage Développement de réseau de distribution. Marketing digital et communication. Recherche de certification (bio, dermatologique). Recherche et développement</p> | <p>proposition de valeur Shampoing 100 % naturel, sans additifs chimiques . Formule enrichie à l'huile de lin pressée à froid : riche en oméga-3 et vitamine E . Respecte l'équilibre du cuir chevelu (pH équilibré) . Bonne mousse et pouvoir lavant prouvé scientifiquement . Produit local, écoresponsable et biodégradable</p> | <p>Relation client Service après-vente par réseaux sociaux. Conseils personnalisés selon types de cheveux. promotions et programmes de fidélité. Échantillons gratuits pour premiers clients/testeurs.</p> | <p>Segments de clientèle Femmes et hommes soucieux de la santé capillaire naturelle. Consommateurs à la recherche de produits sans sulfates/parabènes. Personnes à cuir chevelu sensible ou cheveux secs/bouclés. Magasins bio, salons de coiffure naturels, parapharmacies. Marché local et e-commerce (Algérie + potentiellement international). Personnes qui soucient de l'environnement</p> |
| | <p>Ressources clés Resource financières Huile de lin (pressée localement ou achetée en vrac). Ingrédients naturels (tensioactifs doux, conservateurs bio, parfums naturels). Équipements de production (cuve, mélangeur, balance, flaconnage). Site web + réseaux sociaux.</p> | | <p>Canaux de distribution Vente directe : marchés locaux, foires artisanales. Boutique en ligne (site Web, réseaux sociaux). Distribution dans magasins bio, salons partenaires, pharmacies. Plateformes e-commerce : Jumia, Facebook Marketplace, etc.</p> | |
| <p>Structure des coûts Achat matières premières (huile de lin, tensioactifs, etc.). Emballages recyclables. Équipements de fabrication artisanale. Frais de marketing et design. Création de site e-commerce. Transport et distribution. Tests et certification.</p> | | <p>Sources de revenus Vente directe de flacons de shampoing naturel en formats 250 mL . Abonnement mensuel offrant la livraison automatique d'un flacon de shampoing à domicile contre un forfait fixe. Vente en gros aux salons de coiffure et magasins bio, avec tarifs dégressifs selon le volume. Programme d'affiliation avec commission pour chaque vente générée par des influenceurs.</p> | | |

Le Business Model Canvas (BMC) constitue un outil stratégique incontournable (Tableau 18), permettant de visualiser de manière synthétique et cohérente les composantes essentielles du projet : segments de clientèle, proposition de valeur, canaux de distribution, relations clients, ressources clés, activités clés, partenaires clés, structure des coûts et sources de revenus.

Cette méthode facilite l'analyse globale et intégrée du modèle économique, favorisant ainsi une prise de décision éclairée et une planification opérationnelle efficace.

4.6. Le prototype expérimental

Avant de passer à une éventuelle production à plus grande échelle, un prototype expérimental du shampoing naturel a été réalisé dans le cadre de ce projet (Figure 29). Ce prototype représente la première version concrète du produit formulé à base d'ingrédients naturels, dont l'huile de lin comme actif principal. Il a été préparé en laboratoire selon le procédé de fabrication défini, en respectant les proportions et les étapes décrites précédemment. Ce prototype nous a permis de visualiser le résultat final, d'évaluer la texture, l'aspect, la stabilité, et d'initier les premiers tests qualité. La photo ci-dessous montre l'aspect du produit obtenu.



Figure 29.Le prototype

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

Ce mémoire a permis de développer une formulation innovante de shampoing naturel à base d'huile de lin, en intégrant une démarche complète allant de la recherche expérimentale à la conception d'un modèle économique viable pour une future start-up. À travers l'étude de huit formulations différentes, plusieurs paramètres ont été évalués : pH, densité, pouvoir détergent, indice de réfraction, stabilité dans le temps, ainsi qu'une analyse sensorielle sur cheveux naturels.

Les résultats ont démontré que certaines formules, en particulier la F4, présentaient un excellent compromis entre efficacité, stabilité et qualité cosmétique. L'huile de lin a contribué à améliorer sensiblement la douceur, la brillance et la texture des cheveux, tout en maintenant de bonnes performances nettoyantes.

Un prototype a été réalisé et validé sur le plan technique, fonctionnel et esthétique. De plus, une étude approfondie de l'organisation de la production, de la logistique et de la stratégie marketing a été menée afin de garantir la faisabilité du projet en tant qu'entreprise. L'optimisation des coûts de production à grande échelle a permis de démontrer la rentabilité potentielle du shampoing proposé.

En conclusion, ce travail prouve qu'il est possible de concilier naturalité, performance cosmétique et viabilité économique. Le projet est ainsi prêt à être développé sous forme de start-up, avec des perspectives prometteuses sur le marché des cosmétiques naturels.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **Trüeb, R.M. (2006).** Pharmacologic interventions in aging hair. *Clinical Interventions in Aging*, 1(2), 121–129.
2. **Cosmetic Ingredient Review (CIR). (2010).** Final Report on the Safety Assessment of Sodium Lauryl Sulfate and Ammonium Lauryl Sulfate. *International Journal of Toxicology*, 27, 1-102.
3. **Goyal, A., Sharma, V., Upadhyay, N., Gill, S., & Sihag, M. (2014).** Flax and flaxseed oil: an ancient medicine & modern functional food. *Journal of Food Science and Technology*, 51(9), 1633–1653.
4. **Kaur, M., & Kaur, P. (2016).** Therapeutic potential of linseed oil: A review. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 7(3), 1222-1230.
5. **Ammar, A., Aouidi, F., & Attia, H. (2022).** Natural Cosmetics: Principles and Applications. In: *Green Chemistry for Sustainable Cosmetology*. Elsevier, pp. 55–88.
6. **Barel, A. O., Paye, M. & Maibach, H. I. (2014).** *Handbook of Cosmetic Science and Technology* (3e éd.). CRC Press.
7. **Ho Tan Tai,** *Détergents et produits de soins corporels*, Dunod, 2002.
8. **Draelos, Z. D. (2007).** *Cosmetic Dermatology: Products and Procedures*. Wiley.
9. **D'Souza, P., & Rathi, S. K. (2015).** Shampoo and conditioners: What a dermatologist should know? *Indian Journal of Dermatology*, 60(3), 248-254.
10. **Bloedon L.T, Szapary P.O. 2004.** Flaxseed and cardiovascular risk. *Nutrition Review*, 62(1), 18-27.
11. **Daun et al (2003) Daun J. K., Barthet, V. J., Chorick, T.L., & Duguid, S. (2003).** Structure, composition, and variety development of flaxseed. Dans S. C. Cunnane & L. U Thompson (Eds.), *Flaxseed in human nutrition* (2* éd., p. 1-40). AOCS Press.
12. **Nesbitt et al. (1999) Nesbitt, P. D., Lam, Y. & Thompson, L. U. (1999).** Human metabolism of mammalian lignan precursors in raw and processed flaxseed. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 69(3), 549-555
13. **Morin, O. (2015),** Caractéristiques des huiles de lin et de chanvre. *OCL*, 22(6), D608. doi: 10.1051/ocl/2015053

-
- 14. Chiu, A., & Ryu, H. (2015).** Efficacy of Flaxseed Oil in Improving Hair Health: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 14(1), 15-20
- 15. Gunstone, F. D., Harwood, J. L., & Dijkstra, A. J. (Eds.). (2007).** *The Lipid Handbook* (3^eéd.). CRC Press
- 16. Reverchon E., & De Marco, I. (2006).** Supercritical Fluid Extraction and Fractionation of Natural Matter, *Journal of Supercritical Fluids*, 38(2), 146-166.
- 17. Fuchs, R. (1998)** Solvent Extraction of Vegetable Oils: Principles and Applications. *Journal of the American Oil Chemists* Society*, 75(11), 1371-1380.
- 18. Benaïssi, K. (2013).** Le CO₂ supercritique appliqué à l'extraction végétale : Extraction de lipides. *Techniques de l'Ingénieur*, Réf. CHV4015. Éditions T.I.
- 19. Mohamed, M A., & Ismail, M. (2013).** Optimization of Flaxseed Oil Extraction Using Response Surface Methodology. *Food and Bioprocess Technology*, 6(4). 317-325.
- 20. AFNOR. (2011).** NF EN ISO 22716 : Bonnes pratiques de fabrication - Lignes directrices relatives aux produits cosmétiques. Association Française de Normalisation.
- 21. INRS. (2021).** La prévention des risques chimiques en laboratoire (ED 138). Institut National de Recherche et de Sécurité.
- 22. OMS. (2004).** Bonnes pratiques de laboratoire (BPL). Organisation Mondiale de la Santé.
- 23. Rowe, R. C., Sheskey, P. J., & Quinn, M. E. (2009).** *Handbook of Pharmaceutical Excipients* (6th ed.). Pharmaceutical Press.
- 24. Personal Care Product Council. (2021).** *International Cosmetic Ingredient Dictionary and Handbook* (Vol. 1, 17th ed.). Washington, D.C.: PCPC.
- 25. Dweck, A. C. (2002).** *Formulary of Cosmetic Preparations*. In: Barel, A. O., Paye, M., & Maibach, H. I. (Eds.), *Handbook of Cosmetic Science and Technology* (2nd ed.). Marcel Dekker, Inc.
- 26. AlQuadeib, B. T., Eltahir, E. K. D., Banafa, R. A., & Al-Hadhairi, L. A. (2018).** Pharmaceutical evaluation of different shampoo brands in local Saudi market. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 26(1), 98–106.
- 27. ASTM International. (2014).** ASTM D2490-08(2014) Standard Test Method for Refractive Index of Transparent Liquids by a Refractometer. ASTM International.
- 28. Mohammed, A., Gawad, Y., & El-Zayat, S. (2007).** Determination of the refractive indices of vegetable oils using a digital refractometer. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 84(10), 945–949.

-
- 29.Singh, S., Bothiraja, C., & Kshirsagar, S. (2012).** Physicochemical evaluation of shampoo formulations. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 4(3), 252–256.
- 30.Jones, A. P., Davies, N., & Southon, S. (2013).** Assessment of hair cleanser performance: A comparative study on dirt dispersion. *International Journal of Cosmetic Science*, 35(4), 350–358 .
- 31.Pooja, D., Patil, P. A., & Shabaraya, A. R. (2019).** Evaluation of Herbal Shampoo and Comparative Studies with Marketed Herbal Shampoos. *Research Journal of Topical and Cosmetic Sciences*, 10(1), 1–5.
- 32.Anandarajagopal, K., Dineshkumar, B., & Mythreyi, R. (2020).** Formulation and Evaluation of Herbal Shampoo. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, 13(4), 1793–1796.
- 33.Montgomery, D. C. (2017).** *Design and Analysis of Experiments* (9th ed.). John Wiley & Sons.
- 34.Ferreira, S. L. C., Bruns, R. E., da Silva, E. G. P., & dos Santos, W. N. L. (2018).** *Statistical designs and response surface techniques for the optimization of chromatographic systems*. *Journal of Chromatography A*, 1490, 1–23.
- 35.Deshmukh, S., Kaushal, B., & Ghode, S. (2012).** Formulations and evaluation of herbal shampoo and comparative studies with herbal marketed shampoo. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*, 3(3), 638-645.
- 36.Jacquemain, G. (1961).** *La cosmétologie moderne*. Masson
- 37.Souto, E. B., Müller, R. H. (2011).** Cosmetic features and applications of lipid nanoparticles (SLN®, NLC®). *International Journal of Cosmetic Science*, 33(2), 103–113.
- 38.Akhtar, N., et al. (2014).** Assessment of various physicochemical parameters of cosmetic emulsions and their stability evaluation. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 13(8), 1287–1292.
- 39.Rosen, M. J., & Kunjappu, J. T. (2012).** *Surfactants and Interfacial Phenomena*. Wiley.
- 40.Tadros, T. F. (2013).** *Emulsion Formation and Stability*. Wiley-VCH.
- 41.Zhou, J., Han, J., Yang, S., & Zhang, Y. (2020).** *Evaluation of physicochemical and structural characteristics of semi-solid cosmetic emulsions: Rheology, density and particle behavior*. *Journal of Cosmetic Science*, 71(2), 113–121.
- 42.Green, D. W., & Southard, M. Z. (2019).** *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. McGraw-Hill.

-
43. Akhtar, N., Khan, H. M. S., & Mahmood, T. (2014). Formulation and in vitro evaluation of a cosmetic emulsion containing flaxseed extract. *Pharmacology & Pharmacy*, 5(4), 401–407.
44. Kardash, E., & Tur'yan, Y. I. (2005). Acid value determination in vegetable oils by indirect titration in aqueous-alcohol media. *Croatica Chemica Acta*, 78(1), 99–103.
45. Ananthapadmanabhan, K. P., Moore, D. J., Subramanyan, K., Misra, M., & Meyer, F. (2012). Cleansing without compromise: The impact of cleansers on the skin barrier and the role of moisturization. *Dermatologic Therapy*, 25(3), 193–206.
46. Lambers, H., Piessens, S., Bloem, A., Pronk, H., & Finkel, P. (2006). Natural skin surface pH is on average below 5, which is beneficial for its resident flora. *International Journal of Cosmetic Science*, 28(5), 359–370.
47. AlQuadeib, B. T., Gilani, S. J., AlMalki, W. H., & Alsharif, S. (2018). Evaluation of physicochemical properties of selected shampoo brands in Saudi market. *International Journal of Pharmaceutical Research & Allied Sciences*, 7(1), 45–52.
48. Tiwari, A. K., Sahu, A., & Sahu, S. (2016). Formulation and evaluation of herbal shampoo containing extracts of hibiscus rosa-sinensis leaves. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 8(3), 60–63.
49. Chanchal, D., & Saraf, S. (2008). Application of cyclodextrins in cosmetic formulations: A review. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 7(4), 298–307.
50. Patel, R. M., & Prajapati, B. G. (2011). Herbal hair cosmetics: Advancements and recent findings. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 7(1), 41–47.
51. Tungol, M. W., Gonzales, R. C., & Anarna, M. I. (2021). Development and Evaluation of Herbal Shampoo Formulated from Ethanolic Extract of Tsaang-Gubat (*Carmona retusa*). *International Journal of Research Publication and Reviews*, 2(5), 93–97.
52. Gavazzoni Dias, M. F. R. (2015). Hair cosmetics: An overview. *International Journal of Trichology*, 7(1), 2–15.
53. Park, S. Y., Byun, Y. J., & Jung, W. H. (2013). Evaluation of cleaning efficiency and conditioning effects of shampoo formulations containing oils. *Journal of Cosmetic Science*, 64(6), 423–432.
54. Chaudhuri, R. G. (2014). Shampoo in dermatology: Function and formulation. *Indian Journal of Dermatology*, 59(5), 478–483.
55. Ananthapadmanabhan, K. P., Yang, L., & Vincent, C. (2013). A study of the effect of shampoo surfactant systems on hair wetting properties. *International Journal of Cosmetic Science*, 35(3), 234–239.

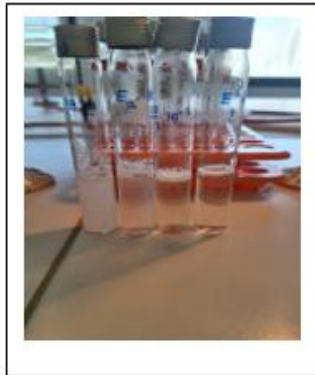
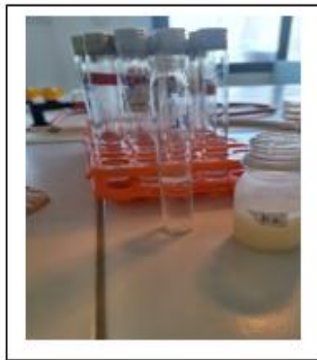
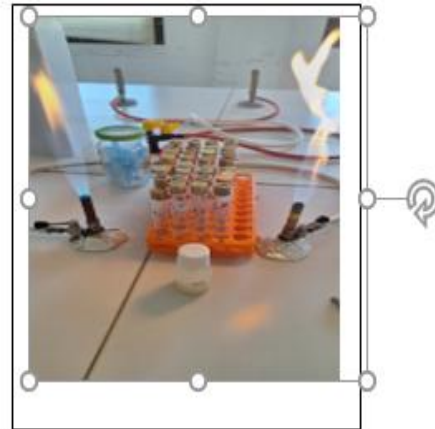
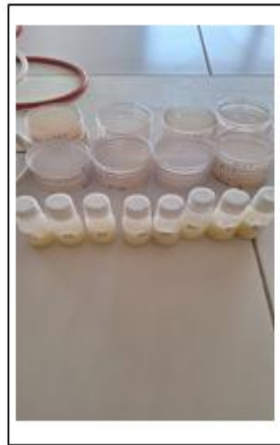
-
- 56. Patel, D. N., Patel, K. N., Patel, K. R., Patel, M. P., & Patel, J. K. (2012).** Hair shampooing formulations and their evaluation: A review. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 12(2), 45–52.
- 57. Rieger, M. M. (1997).** Surfactants in Cosmetics (2nd ed.). *Marcel Dekker Inc.*
- 58. Maji, B., Paul, S., & Dey, A. (2016).** Herbal hair cosmetics: Advances and recent trends. *The Pharma Innovation Journal*, 5(8), 71–76.
- 59. Poucher, W. A. (1993).** *Poucher's Perfumes, Cosmetics and Soaps* (10th ed.). Springer.
- 60. Betz, G., Kofler, M., Fegeler, F., & Ehlert, J. (2005).** The influence of conditioning agents on the efficacy of cleansing formulations. *International Journal of Cosmetic Science*, 27(4), 239–246.
- 61. Goddard, E. D., & Gruber, J. V. (1999).** *Principles of Polymer Science and Technology in Cosmetics and Personal Care*. Marcel Dekker Inc.
- 62. Tsujino, Y., Nakahara, M., & Matsumura, H. (2000).** Foam properties of mixed surfactant solutions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 168(2-3), 209–219.
- 63. Trivedi, D., Nayak, S., & Patel, J. (2019).** Formulation and Evaluation of Herbal Shampoo Containing Extract of *Allium sativum* Linn. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 12(1), 222–225.
- 64. Gaspar, L. R., & Campos, P. M. B. G. M. (2007).** Stability study of cosmetic formulations: Guidelines and approaches. *International Journal of Cosmetic Science*, 29(5), 403–410.
- 65. Ribeiro, L. N. M., Alcântara, A. C. S., Darder, M., Aranda, P., & Sánchez, C. (2015).** Stability studies of cosmetic formulations: A review. *International Journal of Cosmetic Science*, 37(6), 591–600.
- 66. Lima, M. A. (2008).** Stability studies in cosmetic formulations: Methods and applications. *International Journal of Cosmetic Science*, 30(5), 348–356.

Annexe 1

Protocole microbiologique pour l'analyse d'un shampoing cosmétique

1. Préparation de l'échantillon

10 g de shampoing ont été pesés et dilués dans 90 mL de diluant stérile neutralisant (eau peptonée tamponnée contenant du Tween 80 et de la lécithine). Les solutions ont été homogénéisées au vortex pendant 10 minutes. Différentes dilutions décimales (de 10^{-1} à 10^{-3}) ont ensuite été préparées



2. Dénombrement des germes aérobies mésophiles

1 mL de la dilution est prélevé et déposé dans une boîte de Pétri stérile. Ensuite, le milieu PCA ou TSA en surfusion (à 45 °C) est versé dans la boîte. L'ensemble est incubé à une température comprise entre 32 et 35 °C pendant 48 à 72 heures. Par la suite, le Comptage des colonies (UFC/g ou ml) est effectué.

3. Dénombrement des levures et moisissures

1 mL de la dilution est déposé dans une boîte de Pétri stérile, puis le milieu Sabouraud additionné de chloramphénicol, fondu et maintenu à 45 °C, est coulé dans la boîte. Après solidification, les

boîtes sont incubées à 25 ± 2 °C pendant 5 à 7 jours. Cette étape permet de détecter la présence éventuelle de levures et de moisissures

4. Recherche de germes pathogènes spécifiés

La recherche des germes pathogènes spécifiques est réalisée selon les méthodes définies par les normes ISO applicables. Après enrichissement dans un bouillon nutritif approprié, les échantillons sont ensemencés sur des milieux sélectifs adaptés à chaque germe

❖ Staphylococcus aureus (norme ISO 22718)

1 mL de la dilution est introduit dans un bouillon de Giolitti-Cantoni ou un autre milieu d'enrichissement adapté, suivi d'une incubation à 35-37 °C pendant 48 heures. Ensuite, un repiquage est effectué sur gélose Chapman (gélose au mannitol salé). Les boîtes sont incubées à 37 °C pendant 24 heures. La présence de colonies jaunes entourées d'un halo clair suggère la présence de *S. aureus*, ce résultat est confirmé par des tests complémentaires (coagulase)

❖ Pseudomonas aeruginosa (norme ISO 22717)

Un millilitre de la dilution est ensemencé dans un bouillon de cétamide, puis incubé à 35 °C pendant 24 à 48 heures. Ensuite, un repiquage est réalisé sur gélose Cetrimide. Après incubation à 35 °C pendant 24 à 48 heures, l'apparition de colonies verdâtres à odeur caractéristique évoque *P. aeruginosa*.

❖ Escherichia coli (norme ISO 21150)

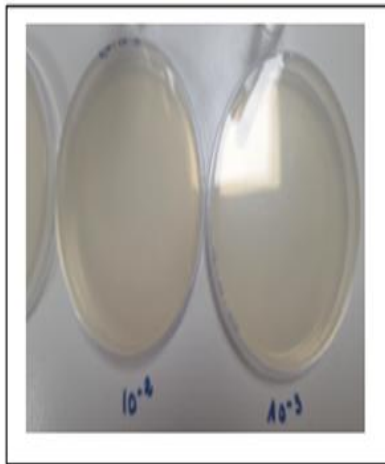
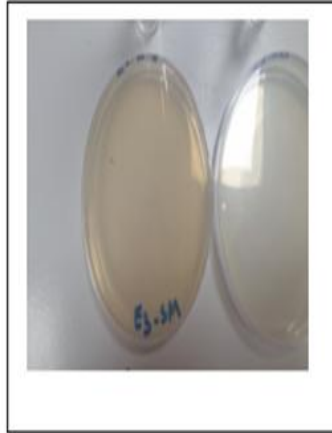
Un volume de 1 mL de la dilution est ensemencé dans un bouillon lactosé contenant du rouge brillant et de la bile (BLBVB), puis incubé à 37 °C pendant 24 heures. En cas de turbidité ou de formation de gaz, un repiquage est effectué sur gélose EMB (éosine-méthylène bleu). Les boîtes sont incubées à 37 °C pendant 24 heures. L'apparition de colonies métalliques à reflet vert indique une suspicion de *E. coli*.

❖ Candida albicans (norme ISO 18416)

1 mL de la dilution est ensemencé dans un bouillon de Sabouraud additionné de chloramphénicol, suivi d'une incubation à 25–30 °C pendant 48 heures. Après enrichissement, un repiquage est

réalisé sur gélose de Sabouraud ou sur un milieu sélectif tel que CHROMagar Candida. Les boîtes sont incubées à 30–37 °C pendant 48 à 72 heures. L'apparition de colonies crémeuses, blanches à verdâtres (sur CHROMagar), suggère la présence de *Candida albicans*, laquelle est ensuite confirmée par des tests spécifiques tels que le test de filamentation (germ tube test)

a-Mise en culture (échantillon) :



Activer Winc
2019

b- Mise en culture (témoin)

