



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique Et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique



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

جامعة قسنطينة 1 الإخوة منتوري  
كلية علوم الطبيعة والحياة

قسم: الكيمياء الحيوية والبيولوجيا الخلوية والجزيئية    Département : Biochimie et Biologie Cellulaire et Moléculaire

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

**Domaine :** Sciences de la Nature et de la Vie

**Filière :** Sciences Biologiques

**Spécialité :** Biochimie

N° d'ordre :

N° de série :

Intitulé :

---

**Etude de l'activité antioxydante et cicatrisante de *Simmondsia chinensis*: comparaison entre l'effet de l'huile et des tourteaux.**

---

Présenté par : MOHAND AMER Chabha  
NEMMOUR Djihane Darine

Le : 25 /06/2025

**Jury d'évaluation :**

**Présidente:** Mme BENNAMOUN. L MCA- Univ. Constantine 1.

**Encadrante :** Mme KHATTABI. L MRB – Centre de Recherche en Biotechnologie (CRBt)

**Examinatrice :** Mme BENCHIHEUB. M MCA - Univ. Constantine 1.

**Année universitaire  
2024 – 2025**



# Remerciements

Avec toute notre gratitude et notre profond respect, nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à **Mme KHATTABI Latifa** pour son précieux soutien tout au long de ce travail. Sa bienveillance, sa patience et son engagement exemplaire ont été essentiels à notre progression. Toujours à l'écoute et disponible, elle nous a guidés avec sagesse et générosité. Grâce à ses compétences scientifiques et pédagogiques, nous avons pu élargir notre perspective et avancer efficacement. Nous lui sommes profondément reconnaissants pour le temps qu'elle nous a consacré ainsi que pour ses conseils éclairés, qui ont enrichi notre parcours et contribué à la réussite de ce travail.

Nous remercions **Dr. BAHRI**, responsable de l'animalerie du département des sciences de la nature et de la vie à l'Université des Frères Mentouri Constantine, pour sa collaboration. Notamment par la mise à disposition des animaux nécessaires à l'expérimentation, et son aide a été essentiels dans la réalisation de la partie pratique de ce projet.

Nos sincères remerciements vont également à **Dr.DJEBAILI Rayane**, docteur en pharmacie, pour ses précieux conseils, son aide généreuse et son accompagnement et sa disponibilité tout au long de ce travail.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à **Mme BENCHIHEUB**, examinatrice, et à **Mme BENNAMOUN**, présidente du jury, pour avoir accepté d'évaluer notre travail. Nous vous remercions chaleureusement pour le temps que vous y avez consacré, ainsi que pour vos remarques pertinentes et enrichissantes.

Enfin, nous remercions tous les enseignants et professeurs qui ont contribué à notre formation au cours de ces années universitaires, pour la qualité de leur enseignement et leur engagement.

Merci pour tous ceux qui ont participé à la réussite de ce mémoire.

## Dédicaces

Ce mémoire est le symbole d'un chemin riche en apprentissages, jalonné de défis affrontés avec courage. Je le dédie à mon futur moi, celui qui regardera cette route avec fierté et gratitude. Ce parcours est la preuve que la persévérance finit toujours par porter ses fruits.

Je remercie Dieu, en qui j'ai puisé la force, la patience et la foi nécessaires pour arriver au bout de ce parcours.

À ceux qui ont partagé mes larmes et mes rires, À ceux qui ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui, C'est à vous que je dois cette réussite et je suis fière de vous l'offrir.

À ma famille, ma force, ma seule vraie richesse. Chaque étape franchie, chaque rêve accompli, je les dois à votre amour et à votre soutien. Car sans vous, rien n'aurait été pareil.

À mon père **Abderazzek**, mon pilier, mon refuge, celui qui a toujours été là, devant moi pour me guider, derrière moi pour me soutenir. Chaque succès, il a célébré avec une fierté. Ton encouragement et ta présence m'ont donné la force d'avancer.

À ma mère **Fetta**, Je n'oublierai jamais quand tu m'as dits : "Vas-y, tu peux le faire." Ces paroles ont illuminé mon chemin, porté chacun de mes espoirs, guidé chacun de mes pas. Tes prières ont été mon plus grand soutien.

À mes sœur **Katia et Maria**, dont l'amour, la patience et les encouragements ont été essentiels à l'accomplissement de ce travail. Leur présence constante à mes côtés a été une force précieuse, aussi bien dans les moments de joie que dans les périodes d'épreuve.

À mon frère **Mourad**, mon pilier. Ces encouragements sincères ont été d'une aide précieuse tout au long de ce parcours. Sa présence fidèle, dans le bonheur comme dans l'adversité, a été pour moi une source constante de force et de réconfort.

À mon binôme **Djihane**, pour les heures et les jours partagées à travailler et à apprendre ensemble. Merci pour ton esprit d'équipe, ta persévérance et ton engagement sans faille. Ensemble, nous avons surmonté les défis et partagé bien plus qu'un simple travail. Nos échanges, tes efforts et ta présence constante ont profondément marqué ce parcours.

À mes chères amies : **Lina, Maroua, Maha, Zahia et Marie**, merci d'avoir été là, présentes dans les moments de doute comme dans ceux de joie.

Et enfin, je dédie ce travail à toutes celles et tous ceux qui, dans l'ombre, ont souhaité mon succès, offert un mot d'encouragement ou simplement cru en moi. C'est avec une profonde gratitude que je partage cette réalisation avec vous.

“Que les leçons du passé me guident, que la détermination du présent me porte, et que les rêves du futur m'inspirent à toujours aller plus loin.”

**Chabha**



## Dédicaces

Avec une émotion profonde et une reconnaissance infinie, je dédie ce travail à celles et ceux qui ont marqué ma vie, éclairé mon chemin et soutenu mes rêves, même dans les moments les plus incertains.

Je me le dédie également, à **moi-même**, pour ma persévérance, ma résilience et le courage d'avoir mené ce mémoire jusqu'au bout, malgré les doutes et les défis.

Avant tout, je rends grâce à Dieu, source de paix et de force, qui m'a donné l'endurance et la foi nécessaires pour mener ce parcours à son terme.

À la plus belle des enseignantes, ma mère **Debchi Samira**, ton amour inconditionnel, ton courage et tes prières silencieuses m'ont portée bien plus loin que tu ne pourrais l'imaginer. C'est ton sourire et ton espoir qui m'ont donné la force, même dans mes jours les plus sombres.

Que Dieu te préserve, maman, toi qui es notre couronne et notre fierté.

Au plus noble des médecins, à mes yeux mon père, **Nemmour Badr Eddine**, parti trop tôt mais vivant à jamais dans mon cœur. Ce rêve, je l'ai poursuivi pour toi. Chaque page, chaque pas, chaque réussite a été dictée par le désir de t'honorer. Ton absence est douloureuse, mais ton souvenir est mon moteur. Je sais que tu es là, quelque part, fier de moi.

À mon frère, **Abd El Malek**, ta présence a toujours été une source de force et de réconfort. Tu as su me soutenir dans l'aisance et dans l'adversité. Ta loyauté et ton amour ont éclairé mes pas. Je te suis profondément reconnaissante.

À mes chères tantes, **Samia et Gamra**, vous occupez une place spéciale dans mon cœur. Votre amour a toujours été une source de force et de réconfort. Votre soutien et vos encouragements m'ont donné la confiance nécessaire pour persévérer.

À mon cher grand-père **Laid**, que Dieu le perpétue pour nous.

À mon cher binôme, **Chabha**, merci pour ta patience, ta bonne humeur et ton énergie sans faille tout au long de ce projet. Travailler à tes côtés a rendu cette aventure bien plus enrichissante et agréable. Ensemble, nous avons relevé tous les défis. Je te souhaite plein de succès et de réussite, avec toute mon amitié.

À mes amies, **Darine et Rihab**, ces étoiles qui illuminent mes journées. Merci d'être là, dans les rires comme dans les tempêtes. Votre amitié est un trésor que je chérirai toujours.

À toute ma famille, chaque mot d'encouragement, chaque geste de tendresse a compté. Merci de faire partie de mon histoire, merci de m'avoir permis d'arriver jusqu'ici.

**Djihane**



## LISTE DES ABREVIATION

### Abréviation

|  |   |
|--|---|
| <b>A0.5</b>  | Absorbance à 0,5                                    |
| <b>Abs (<math>\lambda</math>)</b>                  | Absorbance du produit de protection solaire         |
| <b>Ag</b>  | Antigène  |
| <b>AG</b>  | Acide gallique                                      |
| <b>AGMI</b>  | Acide gras mono-insaturés                           |
| <b>BHT</b>   | Butylhydroxytoluène                                 |
| <b>CF</b>  | La mucoviscidose est un facteur de correction (−10) |
| <b>COXII</b>                                       | Cyclooxygénase II                                   |
| <b>CRBt</b>  | Centre de recherche en biotechnologie               |
| <b>DPPH</b>  | 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle                      |
| <b>EE (<math>\lambda</math>)</b>                   | Spectre d'effet érythémal                           |
| <b>EGF</b>   | Facteur de croissance épidermique                   |
| <b>ETJ</b>   | Extrait des tourteaux de jojoba                     |
| <b>Eq</b>  | Equivalents   |
| <b>FCR</b>   | Réactif de Folin-Ciocalteu                          |
| <b>FeCl<sub>3</sub></b>                            | Chlorure de fer(3)                                  |
| <b>FGF-7</b>                                       | Facteur de croissance des fibroblastes 2            |
| <b>FGF2</b>  | Facteur de croissance des fibroblastes 2            |
| <b>HJ</b>  | Huile de jojoba                                     |
| <b>H<sub>3</sub>PMo<sub>12</sub>O<sub>40</sub></b> | Acide phosphomolybdique                             |
| <b>H<sub>3</sub>PW<sub>12</sub>O<sub>40</sub></b>  | Acide phosphotungstique                             |
| <b>I (<math>\lambda</math>)</b>                    | Spectre d'intensité solaire                         |
| <b>IPA</b>   | Institut Pasteur d'Alger                            |
| <b>KGF</b>   | Facteur de croissance des kératinocytes             |
| <b>LOX</b>   | Lipoxygénase  |
| <b>lys</b>   | Lysine  |

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| <b>Me</b>                           | Groupe méthyle (CH <sub>3</sub> )           |
| <b>MEC</b>                          | Matrice extracellulaire                     |
| <b>met</b>                          | Méthionine                                  |
| <b>Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></b> | Carbonate de sodium                         |
| <b>PDGF</b>                         | Facteur de croissance dérivé des plaquettes |
| <b>PGE<sub>2</sub></b>              | Prostaglandine E2                           |
| <b>Ppm</b>                          | Parties par million                         |
| <b>Qrc</b>                          | Quercétine                                  |
| <b><i>S. chinensis</i></b>          | <i>Simmondsia chinensis</i>                 |
| <b>SPF</b>                          | Facteur de protection solaire               |
| <b>UV</b>                           | Ultraviolet                                 |
| <b>W<sub>8</sub>O<sub>23</sub></b>  | Oxydes de tungstène                         |
| <b>±</b>                            | Écart-type ou intervalle de variation       |



---

# Table des matières

---



## Liste Des Abbreviations

## Liste Des Figures

## Liste Des Tableaux

## Introduction .....1

### Chapitre 01 :donnees bibliographiques sur de l'espece vegetale et la peau

## I. Donnees bibliographiques sur l'espece vegetale .....4

### I.1.Presentation de la plante de jojoba (*simmondsia chinensis*).....4

#### I.1.1. Description .....4

#### I.1.2. Noms communs de jojoba.....5

#### I.1.3. Taxonomie et classification botanique.....5

#### I.1.4. Repartition geographique.....5

#### I.1.5. Description botanique .....6

##### I.1.5.1. Racine .....8

##### I.1.5.2.Tige .....8

##### I.1.5.3. Feuille.....8

##### I.1.5.4. Fleurs .....9

##### I.1.5.5. Fruit .....9

##### I.1.5.6. Graines.....9

### I.2. Les sous-produits des graines .....10

#### I.2.1. L'huile de jojoba (*simmondsia chinensis*).....10

##### I.2.2.1. Caractères organoleptiques .....11

##### I.2.2.2. Composition chimique .....12

###### I.2.2.2.1. Cire de jojoba .....12

###### I.2.2.2.1.1. Esters de cire.....13

###### I.2.2.2.1.2. Acides gras et alcools .....13

###### I.2.2.2.1.3. Stérols.....14

###### I.2.2.2.1.4. Flavonoïdes et composés phénoliques .....14

|  |    |
|--|----|
| I.2.2.2.1.5. Vitamines liposolubles .....                      | 16 |
| I.2.2.3. Utilisation traditionnelle de l'huile de jojoba ..... | 17 |
| I.2.2.4. Utilisations pharmacologiques .....                   | 17 |
| I.2.2.5. Les affections cutanées .....                         | 18 |
| I.2.2.6. Cosmétiques.....                                      | 19 |
| I.2.2.7. Santé .....   | 20 |
| I.2.2.9. Agriculture.....                                      | 20 |
| I.2.2. Tourteaux de jojoba .....                               | 20 |
| II. Données bibliographiques sur la peau.....                  | 22 |
| II.1. Structure de la peau : .....                             | 22 |
| II.1.1. L'épiderme.....  | 23 |
| II.1.1.1. Les kératinocytes .....                              | 23 |
| II.1.1.2. Les mélanocytes .....                                | 24 |
| II.1.1.3. Les cellules de langerhans.....                      | 24 |
| II.1.1.4. Les cellules de merkel .....                         | 24 |
| II.1.2. La jonction dermo-epidermique .....                    | 24 |
| II.1.3. Le derme : .....                                       | 25 |
| II.1.3.1. Les fibroblastes .....                               | 25 |
| II.1.3.2. Les macrophages : .....                              | 25 |
| II.1.3.3. Les cellules dendritiques : .....                    | 25 |
| II.1.3.4. Les mastocytes : .....                               | 25 |
| II.1.3.5. La matrice extracellulaire .....                     | 26 |
| II.1.4. L'hypoderme .....                                      | 26 |
| II.2. La cicatrisation .....                                   | 27 |
| II.2.1. Première phase : inflammatoire .....                   | 27 |
| II.2.2. Deuxième phase : prolifération .....                   | 28 |
| II.2.3. Troisième phase : remodelage .....                     | 28 |

## Chapitre 02 : matériel et méthodes

|   |           |
|---|-----------|
| <b>I. Etude phytochimique .....</b>   | <b>31</b> |
| <b>I.1. Matériel végétal.....</b>   | <b>31</b> |
| <b>I.1.1. Extraction de l'huile de jojoba .....</b>   | <b>31</b> |
| <b>I.1.1.1. Préparation des graines.....</b>  | <b>31</b> |
| <b>I.1.1.2. Extraction de l'huile.....</b>  | <b>32</b> |
| <b>I.1.1.3. Filtration de l'huile.....</b>  | <b>32</b> |
| <b>I.1.1.4. Stockage de l'huile.....</b>  | <b>32</b> |
| <b>I.2. Calcul du rendement.....</b>  | <b>33</b> |
| <b>I.3. Extraction des tourteaux de jojoba .....</b>  | <b>33</b> |
| <b>I.3.1. Broyage.....</b>  | <b>33</b> |
| <b>I.3.2. Extraction solide liquide par macération.....</b>   | <b>34</b> |
| <b>I.3.3. Extraction par ultrasons .....</b>  | <b>34</b> |
| <b>I.3.4. Filtration.....</b>   | <b>35</b> |
| <b>I.3.5. Évaporation .....</b>   | <b>36</b> |
| <b>I.4. Dosage des polyphénols et flavonoïdes .....</b>   | <b>37</b> |
| <b>I.4.1. Polyphénols totaux .....</b>  | <b>37</b> |
| <b>I.4.2. Flavonoïdes totaux .....</b>  | <b>38</b> |
| <b>I.5. Activité antioxydante et anti-solaire.....</b>  | <b>39</b> |
| <b>I.5.1. Activité antioxydante.....</b>  | <b>39</b> |
| <b>I.5.1.1. Activité anti-radicalaire du DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle).....</b>                     | <b>39</b> |
| <b>I.5.1.2. Activité de réduction par la formation du complexe <math>Fe^{+2}</math>-phénantroline .....</b> | <b>40</b> |
| <b>I.5.2. Antisolaire SPF (Sun Protection Factor) .....</b>   | <b>41</b> |
| <b>II. Activité cicatrisante .....</b>  | <b>42</b> |
| <b>II.1. Animaux.....</b>   | <b>42</b> |
| <b>II.1.1. Préparation des rats .....</b>   | <b>43</b> |
| <b>II.1.2. Anesthésie.....</b>  | <b>44</b> |

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| II.1.3. Création des plaies.....     | 45 |
| III. Etude statistique.....          | 50 |
| IV. Etude histologique.....          | 50 |
| IV.1. Préparation des tissus.....    | 50 |
| IV.2.Fixation .....                  | 53 |
| IV.3. Déshydratation .....           | 55 |
| IV.4. Inclusion en paraffine.....    | 55 |
| IV.5. Etablissement des rubans ..... | 57 |
| IV.6. Déparaffinage .....            | 58 |
| IV.7. Coloration et montage .....    | 58 |

### Chapitre 03 : résultats et discussion

|   |    |
|---|----|
| I. Etude phytochimique.....   | 61 |
| I.1. Le rendement d'extraction de l'huile de jojoba.....                                  | 61 |
| I.2. Détermination du contenu en total de polyphénols et flavonoïdes .....                | 61 |
| I.3. Activité antioxydantes et antisolaire.....   | 65 |
| I.3.1.activité antioxydantes.....   | 65 |
| I.3.1.1 activité antiradicalaire au dpph.....   | 65 |
| I.3.1.2. Activité de réduction par la formation du complexe $Fe^{+2}$ -phénantroline..... | 68 |
| I.3.2. Activité antisolaire.....  | 70 |
| II. Activite cicatrisante.....  | 72 |

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| II.1. Effet cicatrisant .....     | 72 |
| II.2. Evolution du poids.....     | 75 |
| III. Etude histologique.....      | 77 |
| Conclusion et perspectives .....  | 84 |
| Références bibliographiques ..... | 86 |

## Annexes

الملخص

Abstract

Résumé

## Liste des figures

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure 1:</b> plante de Jojoba ( <i>Simmondsia chinensis</i> ) .....                                | 4  |
| <b>Figure 2:</b> répartition géographique de Jojoba .....  | 6  |
| <b>Figure 3 :</b> photos de diverses parties de la plante de Jojoba ( <i>S. Chinensis</i> ). ....      | 7  |
| <b>Figure 4:</b> section longitudinale à travers une graine .....                                      | 10 |
| <b>Figure 5:</b> illustration du processus d'extraction de l'huile de Jojoba à partir des graines..... | 11 |
| <b>Figure 6:</b> structure de l'huile de Jojoba ( cire ) .....   | 13 |
| <b>Figure 7:</b> structures des principaux stérols présents dans l'huile de Jojoba .....               | 15 |
| <b>Figure 8:</b> tourteaux de Jojoba après le processus d'extraction de l'huile Rajasthan, Inde .....  | 22 |
| <b>Figure 9:</b> structure de la peau .....  | 22 |
| <b>Figure 10:</b> différentes couches de l'épiderme .....  | 23 |
| <b>Figure 11:</b> structure de l'épiderme .....  | 24 |
| <b>Figure 12:</b> structure du derme. ....   | 26 |
| <b>Figure 13:</b> structure de l'hypoderme .....   | 27 |
| <b>Figure 14 :</b> les 3 phases de la cicatrisation.....   | 29 |
| <b>Figure 15:</b> photo originale des graines de jojoba et lieu d'achat des graines.....               | 31 |
| <b>Figure 16:</b> le processus de l'extraction de l'huile.....   | 32 |
| <b>Figure 17:</b> étapes de broyage des tourteaux de jojoba.....                                       | 33 |
| <b>Figure 18:</b> macération des tourteaux de jojoba .....   | 35 |
| <b>Figure 19:</b> extraction par ultrasons .....   | 36 |
| <b>Figure 20:</b> filtration du l'extrait.....   | 36 |
| <b>Figure 21:</b> évaporation du l'extrait.....  | 37 |
| <b>Figure 22 :</b> dosage des polyphénols.....   | 38 |
| <b>Figure 23:</b> dosage des flavonoïdes.....  | 39 |
| <b>Figure 24:</b> différentes étapes de l'activité DDPH.....   | 40 |
| <b>Figure 25:</b> différentes étapes de l'activité Phenanthroline .....                                | 41 |
| <b>Figure 26:</b> les rats wistar et la localisation géographique de l'animalerie.....                 | 43 |
| <b>Figure 27:</b> préparation des rats pour l'intervention .....                                       | 44 |
| <b>Figure 28:</b> les étapes d'anesthésie .....  | 45 |
| <b>Figure 29:</b> les étapes de rasage des rats.....   | 46 |
| <b>Figure 30:</b> préparation pour intervention .....  | 47 |
| <b>Figure 31:</b> création d'une plaie circulaire .....  | 48 |
| <b>Figure 32:</b> application du traitement sur les rats.....  | 49 |
| <b>Figure 33:</b> anesthésie des rats .....  | 50 |
| <b>Figure 34:</b> rasage de pelage des rats .....  | 51 |
| <b>Figure 35:</b> excision des tissus pour l'analyse anatomopathologique .....                         | 52 |
| <b>Figure 36:</b> les zones excisées des trois groupes expérimentaux .....                             | 53 |
| <b>Figure 37:</b> fixation des peaux dans des cassettes mises dans le formol à 10 %. ....              | 54 |
| <b>Figure 38:</b> les étapes de paraffinage .....  | 56 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure 39:</b> fabrication des rubans .....   | 57 |
| <b>Figure 40:</b> découpage des rubans.....  | 58 |
| <b>Figure 41:</b> la courbe d'étalonnage d'acide gallique. ....  | 62 |
| <b>Figure 42:</b> la courbe d'étalonnage de la quercétine. ....  | 63 |
| <b>Figure 43 :</b> la concentration des polyphénols et des flavonoïdes d'etj et HJ de <i>S. Chinnesis</i> . ....                                   | 64 |
| <b>Figure 44 :</b> la plaque de l'activité anti radicalaire (DPPH) d'etj et HJ de <i>S.chinnesis</i> .....   | 66 |
| <b>Figure 45 :</b> evaluation de l'activité anti-radicalaire (DPPH) d'etj et HJ.....   | 67 |
| <b>Figure 46 :</b> la plaque de réduction par la formation du complexe Fe <sup>+2</sup> - phénantroline par ETJ et HJ de <i>S.chinnesis</i> . .... | 69 |
| <b>Figure 47 :</b> l'activité de réduction par la formation du complexe Fe <sup>+2</sup> - phénantroline de ETJ et HJ .....                        | 70 |
| <b>Figure 48:</b> l'activité antisolaire (SPF) d'etj et de l'hj .....  | 71 |
| <b>Figure 49 :</b> l'évolution de la cicatrisation des plaies traitées par HJ et ETJ, et témoin pendant 15 jours. ....                             | 73 |
| <b>Figure 50 :</b> évolution de la cicatrisation en fonction de la fermeture des plaies traitées par HJ et ETJ.....                                | 74 |
| <b>Figure 51 :</b> évolution du poids corporel des rats en fonction du traitement expérimental (témoin , ETJ , HJ).....                            | 76 |
| <b>Figure 52:</b> observation au microscope optique des coupes histologiques de la peau des rats Wistar du témoin négatif (G ×40). ....            | 79 |
| <b>Figure 53 :</b> observation au microscope optique des coupes histologiques de la peau des rats Wistar du l'hj (G ×40). ....                     | 80 |
| <b>Figure 54 :</b> observation au microscope optique des coupes histologiques de la peau des rats Wistar d'etj (G ×40).....                        | 82 |

## Liste de tableaux

|  |    |
|--|----|
| <b>Tableau 1:</b> classification systématique et phylogénétique de <i>S. chinensis</i> .....                                     | 5  |
| <b>Tableau 2 :</b> caractères organoleptiques de l'huile de Jojoba. ....   | 12 |
| <b>Tableau 3 :</b> ctructures chimiques des composants ester de cire les plus abondants en cire de Jojoba .....                  | 13 |
| <b>Tableau 4:</b> la composition on acides gras de l'huile de Jojoba . ....  | 14 |
| <b>Tableau 5 :</b> le pourcentage moyen de la teneur en stérols dans l'huile de Jojoba. ....                                     | 15 |
| <b>Tableau 6 :</b> structures chimiques des flavonoïdes les plus abondants dans le Jojoba .....                                  | 16 |
| <b>Tableau 7:</b> corrélation entre l'effet érythématogène (EE) et l'intensité du rayonnement à chaque longueur d'onde (I) ..... | 42 |
| <b>Tableau 8 :</b> inhibition du radical DPPH par ETJ et HJ de <i>S.chinensis</i> .....  | 66 |
| <b>Tableau 9 :</b> absorbance du complexe Fe+2- phénantroline de ETJ et HJ de <i>S.chinensis</i> .....                           | 69 |
| <b>Tableau 10:</b> résultats de l'activité antisolaire (SPF) d'ETJ et HJ. ....   | 71 |
| <b>Tableau 11 :</b> analyse ANOVA des effets de l'ETJ et de la HJ sur la fermeture des plaies .....                              | 75 |
| <b>Tableau 12 :</b> analyse statistique de l'influence des ETJ et de l'HJ sur le poids .....                                     | 77 |



---

# Introduction

---



La phytothérapie est le traitement par les plantes (Bruneton, 1999). C'est une discipline médicale ancestrale, s'inscrit dans une longue tradition thérapeutique remontant aux premières civilisations. Elle repose sur l'utilisation de parties végétales feuilles, fleurs, sommités fleuries, racines ou encore la plante entière dans le but de prévenir ou de traiter diverses affections (Santarome, 2023).

Les phytothérapeutiques sont des extraits de plantes médicinales et leurs principes actifs peuvent soulager les symptômes et même guérir des maladies (Létard *et al.* 2015).

Les plantes médicinales constituent la source principale des principes actifs utilisés dans la production pharmaceutique (Maurice, 1997). Elles représentent un patrimoine précieux et un véritable trésor pour l'humanité. Leur usage est particulièrement répandu dans les pays en développement, où elles jouent un rôle central dans les soins de santé primaires (Salhi *et al.* 2010). Elles interviennent dans divers secteurs sous forme de principes actifs, huiles et extraits. Les formes galéniques les plus couramment utilisées incluent les tisanes, gélules, alcoolats, teintures et extraits, administrés par voie interne ou appliqués par voie (Ferreira *et al.* 2014).

Aujourd'hui encore, plusieurs systèmes médicaux traditionnels notamment les médecines chinoises, ayurvédique, arabe, tibétaine et indienne continuent de fonder leur pratique sur l'usage thérapeutique des plantes, représentant une alternative plus accessible économiquement aux traitements conventionnels (Létard *et al.* 2015).

Dans le cadre de notre travail sur les plantes médicinales, nous étudions l'extrait et l'huile issus des graines de *Simmondsia chinensis* et leur influence sur la cicatrisation. Cette espèce, unique représentante du genre *Simmondsia*, appartient à la famille des *Simmondsiaceae* et est originaire des régions arides d'Amérique du Nord. Aujourd'hui, elle est cultivée dans plusieurs pays pour ses multiples applications.

L'huile extraite de ces graines est utilisée pour ses propriétés hydratantes, anti-inflammatoires et antioxydantes. Traditionnellement utilisée en médecine alternative, elle intervient dans les soins cutanés et capillaires ainsi que dans le traitement des cicatrices.

Les tourteaux de jojoba, résulte de l'extraction de l'huile (Mohamed *et al.* 2023) moins étudié que celle-ci, il renferme une richesse en protéines et composés bioactifs (Shrestha *et al.* 2002). Lui

conférant un intérêt potentiel en cosmétique et nutrition animale (Hosseini *et al.* 2011). Ses propriétés antioxydantes et ses composants actifs pourraient également favoriser la régénération et la protection cellulaires.

L'huile de jojoba, largement reconnue pour ses propriétés biologiques et cicatrisantes. En revanche, le tourteau de jojoba, résidu solide issu de l'extraction de l'huile, reste peu étudié malgré sa richesse en protéines et en composés bioactifs. Cette disparité scientifique soulève une question essentielle : Quel est leur potentiel comparatif en matière de cicatrisation ? Plus précisément, comment leurs compositions distinctes influencent-elles la réparation tissulaire ? Quel rôle jouent ces deux sous-produits dans leurs activités biologiques, notamment leur pouvoir antioxydant, et comment participent-ils aux mécanismes de régénération ?

Ainsi, afin de valider scientifiquement cette hypothèse, une étude expérimentale a été menée pour évaluer son efficacité dans l'amélioration et l'accélération de la cicatrisation cutanée. Dans ce contexte, l'objectif de ce travail est d'examiner l'effet cicatrisant de l'huile de jojoba et de l'extrait de tourteau de jojoba *in vivo*, et d'analyser leurs activités biologiques *in vitro* afin de mieux caractériser leurs propriétés. Plus précisément, il s'agit d'étudier leurs effets antioxydants, ainsi que la concentration en polyphénols et flavonoïdes, et d'autres potentiels biologiques. Enfin, nous évaluons leur impact sur un modèle animal, afin d'explorer leur intérêt pour des applications thérapeutiques et cosmétiques.



---

## Chapitre 01 : données bibliographiques sur l'espèce végétale et la peau

---



## I. Données bibliographiques sur l'espèce végétale

### I.1. Présentation de la plante de Jojoba (*Simmondsia chinensis*)

#### I.1.1. Description

*Simmondsia chinensis* (Link) Schneider ou Jojoba est un arbuste dioïque appartenant à la famille des *Simmondsiaceae*. L'espèce se caractérise par la présence de plantes mâles et femelles distinctes et une différenciation sexuelle, qui ne devient apparente qu'après la première floraison, généralement entre la quatrième et la cinquième année après la plantation (Martin 1983). Plante xérophytique à port ligneux et persistant, le Jojoba présente une architecture multicaulinaire (Bala, 2021), et est caractérisé par une excellente tolérance aux conditions de sécheresse et de salinité (Gentry, 1958).

Dans son environnement naturel (figure 1), l'arbuste atteint une hauteur variant entre 0,5 et 1 mètre, bien qu'il puisse exceptionnellement croître jusqu'à 6 mètres. Son système racinaire principal, qui atteint jusqu'à 12 mètres de profondeur, lui confère une large gamme d'adaptabilité dans les environnements secs (Bala, 2021). La durée de vie du Jojoba est estimée entre 100 et 200 ans (Gentry, 1958), le plaçant parmi les espèces hautement tolérantes. Il convient de mentionner qu'à ce jour, le Jojoba est la seule espèce végétale connue capable de produire naturellement une cire liquide connue sous le nom d'huile de Jojoba (Sherbrooke & Haase, 1974).



**Figure 1:** plante de Jojoba (*Simmondsia chinensis*) (Perry, 2025)

### I.1.2. Noms communs de Jojoba

La dénomination Jojoba, prononcée « ho-ho-ba », est une altération du terme indien natif Papago « howhowi ». Le Jojoba est également désigné par divers autres noms tels que bucknut, noix de café, noix de chèvre, pignut, nutpush, baie de chèvre, noix de mouton et feuille de citron (Gad *et al.* 2021).

### I.1.3. Taxonomie et classification botanique

Cette espèce a obtenu son premier statut taxonomique en 1822, lorsqu'elle a été désignée par Johann Link sous le nom de *Buxus chinensis*. Cependant, en 1844, Thomas Nuttall a modifié ce nom en *Simmondsia californica*. En 1912, Camillo Karl Schneider, un botaniste originaire d'Autriche, a donné à cette plante le nom de *S. chinensis* (Bala, 2021). Les données correspondantes sont présentées dans le Tableau 1.

**Tableau 1:** classification systématique et phylogénétique de *S. chinensis* (Sturtevant *et al.* 2020).

|                           |  |
|---------------------------|--|
| <b>Règne</b>              | <i>Plantae</i> (plantes)   |
| <b>Embranchement</b>      | <i>Magnoliophyta</i>   |
| <b>Sous Embranchement</b> | <i>Spermatopyta</i>  |
| <b>Classe</b>             | <i>Magnoliopsida</i> (dicotylédones)   |
| <b>Ordre</b>              | <i>Euphorbiales</i> ou <i>Caryophyllales</i> (Classification phylogénétique) |
| <b>Famille</b>            | <i>Simmondsiacées</i>  |
| <b>Genre</b>              | <i>Simmondsia</i>  |
| <b>Espèce</b>             | <i>Simmondsia chinensis</i>  |

### I.1.4. Répartition géographique :

La répartition géographique du Jojoba (figure 2), s'étend sur une grande partie du désert de Sonora (Lisan *et al.* 1907). Selon (Al-ani *et al.* 1972) cette plante bénéficie d'une vaste distribution écologique, avec des populations naturelles réparties entre le Mexique, le sud de la Californie et l'Arizona. Toutefois, sa présence n'est pas uniforme à travers ce territoire, mais plutôt fragmentée

en petites zones isolées. Maintenant, il est cultivé au Mexique, aux États-Unis, en Argentine, en Australie, au Brésil, au Costa Rica, en Égypte, en Haïti, au Paraguay et en Afrique du Sud.

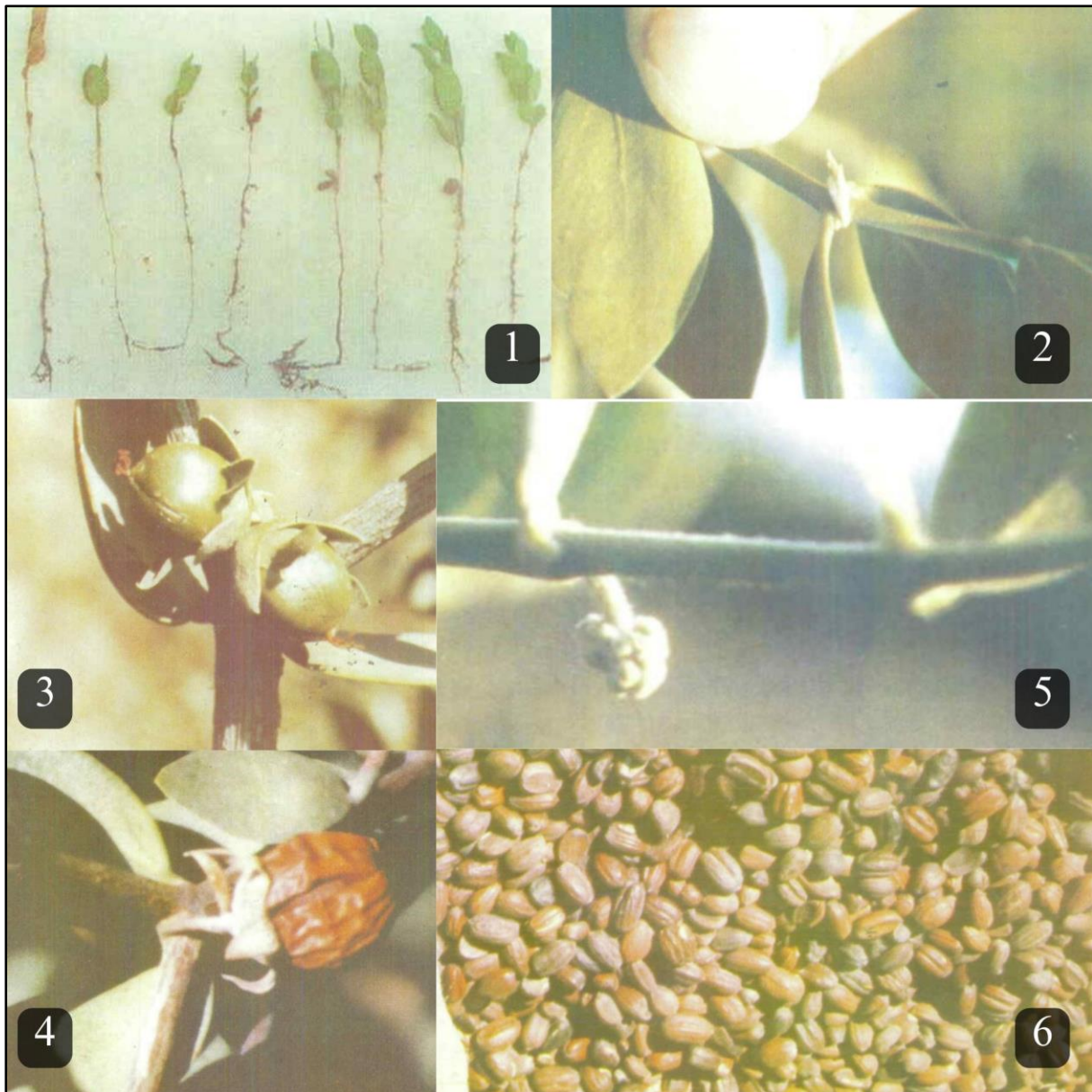


**Figure 2:** répartition géographique de Jojoba (Orwa et al. 2009)

- Originaire : Mexique, États-Unis d'Amérique
- Exotique : Argentine, Australie, Brésil, Costa Rica, Égypte, Haïti, Palestine, Paraguay, Afrique du Sud

#### **I.1.5. Description botanique :**

Le Jojoba est une plante dioïque (comportant des individus mâles et femelles distincts), dont le genre ne peut être identifié qu'au moment de la première floraison, soit environ 4 à 5 ans après sa mise en terre (Martin, 1983). Les diverses parties de cette plante sont présentes dans la figure3.



**Figure 3** : photos de diverses parties de la plante de Jojoba (*S. chinensis*) (Brochero, 1986).

1 : racines de plantes de Jojoba (Valledupar, César), 2 : Feuillage et bourgeons floraux de Jojoba (Tucson, Arizona) , 3 : Une des formes de présentation des fruits de Jojoba : par 2 à chaque troisième nœud (Sonora, Mexique) , 4 : Fruit de Jojoba en processus de séchage : observez sa couleur marron (Californie, États-Unis) , 5 : La fleur masculine de Jojoba apparaît généralement à chaque troisième nœud (Californie, États-Unis) , 6 : Graines de Jojoba (Sonora, Mexique) (Brochero, 1986)

#### **I.1.5.1. Racine**

La racine du Jojoba (*Simmondsia chinensis*) est pivotante et s'enfonce rapidement dès la germination, atteignant 40 cm avant même l'émergence de la tige. Chez les plantes matures, elle peut atteindre 10 à 15 mètres de profondeur, selon la nature du sol. Dans les sols meubles, la croissance verticale est favorisée, tandis que dans les sols compacts, les racines latérales dominent. Ce système racinaire profond confère au jojoba une grande résistance à la sécheresse. (Bala, 2021 ; Gad *et al.* 2021).

#### **I.1.5.2. Tige**

Le Jojoba est un arbuste ligneux à multiples tiges, dont la ramification débute à la couronne racinaire et s'accroît avec l'âge. Les individus mâles présentent une croissance végétative plus développée que les femelles, en raison d'une moindre allocation des ressources à la reproduction (Gentry, 1958 ; Adams *et al.* 1977).

#### **I.1.5.3. Feuille**

Les feuilles de *Simmondsia chinensis* sont opposées, allongées, et recouvertes d'une couche cireuse et de poils qui réduisent la perte d'eau. Elles contiennent des tissus riches en composés phénoliques, leur conférant une fonction protectrice (Bala, 2021). Leur durée de vie est variable selon l'humidité ou l'exposition à l'ombre (Arya *et al.* 2016). Elles présentent un parenchyme en palissade et des cristaux d'oxalate de calcium.

#### **I.1.5.4. Fleurs**

*Simmondsia chinensis* présente une floraison unisexuée et dioïque, avec des individus mâles et femelles distincts. Les fleurs, dépourvues de pétales, sont pollinisées par le vent ; les mâles, groupés et jaunâtres, contrastent avec les femelles, plus discrètes et isolées (Bala, 2021). La floraison débute en fin d'été, mais la pollinisation est différée de plusieurs mois. Les fleurs se développent à partir de bourgeons axillaires situés aux nœuds de la tige.

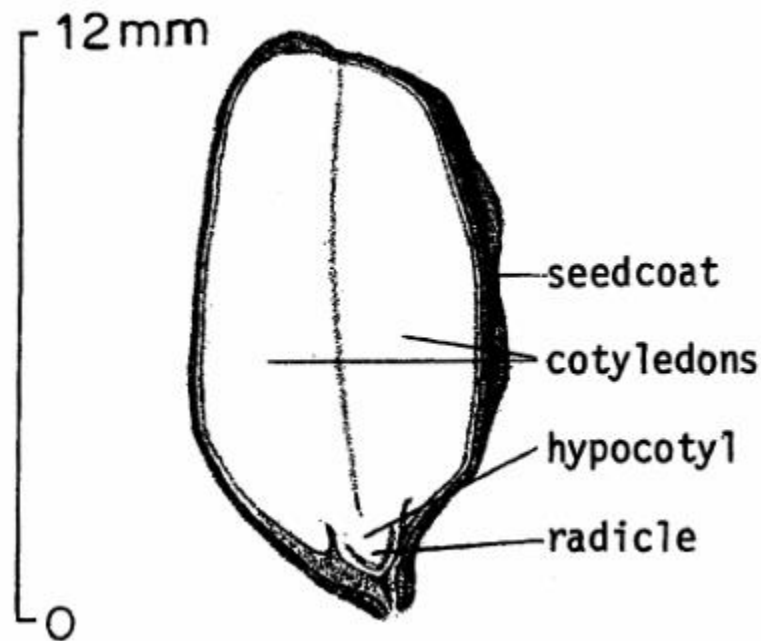
#### **I.1.5.5. Fruit**

Le fruit de *Simmondsia chinensis* est une capsule verte, lisse et cylindrique, mesurant environ 2 cm, contenant généralement une à trois graines (Bala, 2021). La capsule atteint sa taille finale en trois mois, tandis que la maturation des graines nécessite six à sept mois. À maturité, elle s'ouvre spontanément en trois valves pour libérer les graines (Bala, 2021). Le développement du fruit est

influencé par la taille des feuilles, bien que ce lien soit davantage rapporté dans des travaux antérieurs (Gentry, 1958).

#### **I.1.5.6. Graines**

Les graines de Jojoba ont une couleur qui va du brun foncé au noir, avec une surface lisse (Bala, 2021). Elles ressemblent à de petits glands, avec un sommet pointu et une base légèrement creusée et plate. En général, leur longueur se situe entre 12 et 18 mm, et leur largeur entre 6 et 12 mm, avec une forme en grande partie triangulaire (Arya *et al.* 2016). Le tissu parenchymateux dans les cotylédons contient à la fois des corps protéiques et de petites granules d'aleurone (Rost *et al.* 1977). La coque extérieure, ou testa, est faite de plusieurs couches de cellules parenchymateuses pigmentées en brun (Vaughan, 1970). Quand la graine germe, ça va assez vite : les pétioles des cotylédons s'étirent, poussant lentement l'embryon hors de la testa. En même temps, l'hypocotyle grandit, et la racine principale s'allonge rapidement pour atteindre 30 à 40 cm de long, avant que l'épicotyle ne sorte, généralement 4 à 6 jours après le début de la croissance racinaire (figure 4). L'embryon utilise l'huile contenue dans les cotylédons durant la germination, et celle-ci se réduit de 48 % dès le premier jour, atteignant 10 % d'huile au bout de 30 jours (Rost *et al.* 1977). La graine de Jojoba, en outre, renferme 50 % d'huile par rapport à son poids sec, 15 % de protéines brutes, entre 4 et 6 % de sucres réducteurs et non réducteurs, 20,1 % d'autres glucides, 4,1 % de fibres grossières, 4,51 % d'humidité, 1,5 % de cendres, 2,31 % de simmondsine et enfin 7,1 % de ferulate de simmondsine (Verbiscar *et al.* 1978).



**Figure 4:** section longitudinale à travers une graine (Meyer, 1990)

## **I.2. Les sous-produits des graines**

### **I.2.1. L'huile de Jojoba (*simmondsia chinensis*)**

L'huile de Jojoba est une cire liquide d'esters extraits des graines (figure 5), composée de deux types d'esters, plutôt qu'une cire grasse ou un triglycéride. Elle se distingue par une agréable odeur de noisette et sa couleur claire légèrement jaune. Son exceptionnelle stabilité lui permet de ne pas rancir, même après une longue période de stockage, et elle conserve sa viscosité même à des températures élevées, ce qui en fait un lubrifiant de qualité supérieure. Cette huile peut absorber une grande quantité de soufre, elle est compatible avec des solvants tels que le benzène, l'éther de pétrole et le tétrachlorure de carbone, tout en étant miscible avec l'alcool et l'acétone. De plus, ses points d'éclair et d'ignition élevés assurent une utilisation sans danger (Gad *et al.* 2021).



**Figure 5:** illustration du processus d'extraction de l'huile de Jojoba à partir des graines (Vitals 2025).

#### **I.2.2.1. Caractères organoleptiques**

Liquide huileux relativement visqueux obtenu par pressage des graines de Jojoba composé d'esters d'acides gras, il agit donc plus comme une cire liquide que comme une graisse (Ramos, 2011). Un dépôt naturel ou un trouble peut se former au fond des flacons. Les caractéristiques observées sont présentées dans le Tableau 2.

**Tableau 2** : caractères organoleptiques de l'huile de Jojoba (Interchimie 2018).

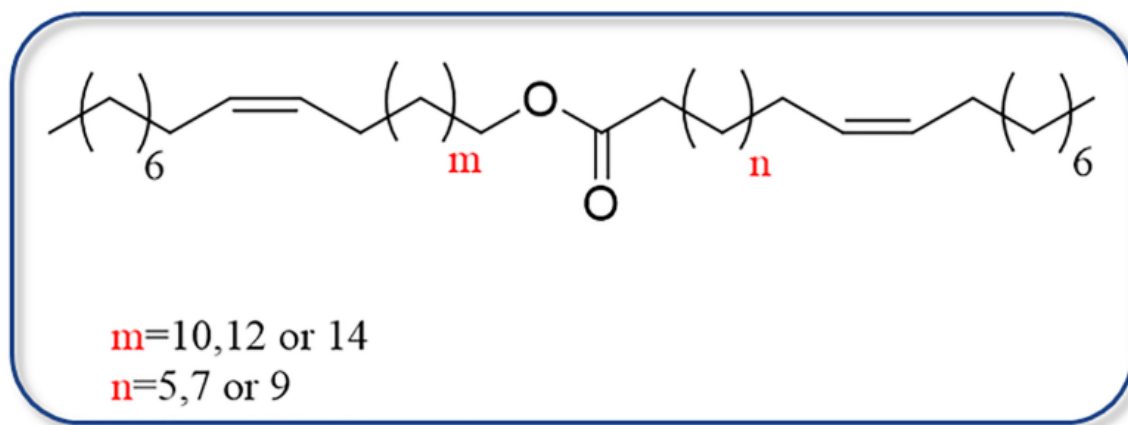
| caractères  | Description            |
|-------------|------------------------|
| Aspect      | Cire liquide visqueuse |
| Odeur       | Odeur de noisette      |
| Couleur     | Jaune clair            |
| Toucher     | sec                    |
| Pénétration | Bonne à excellente     |
| Goût        | Insignifiant           |

### I.2.2.2. Composition chimique

L'huile de Jojoba se caractérise par une composition particulière, dominée à environ 98 % par des cires, principalement sous forme d'esters à longue chaîne. Elle renferme également de faibles proportions d'acides gras libres, d'alcools, d'hydrocarbures, de stérols et de vitamines (Orwa *et al.* 2009). En raison de l'absence quasi totale de triglycérides, elle est communément désignée comme une cire liquide plutôt qu'une huile végétale classique (Martin, 1983).

#### I.2.2.2.1. Cire de Jojoba

Les graines contiennent la majorité de la teneur en cire de la plante, représentant environ 50 à 52 % de leur masse (figure 6) (Wisniak, 1977). Cette cire se compose principalement d'esters, ainsi que de quantités moindres d'acides et d'alcools libres, et d'hydrocarbures (Orwa *et al.* 2009). Les esters résultent de l'association d'acides gras à longues chaînes linéaires avec des alcools monohydriques de longues chaînes ou de poids moléculaire plus élevé, notamment les C20 et C22. Les composés concernés sont majoritairement cis-monoinsaturés en position  $\omega$ 9. (Busson-Breyse *et al.* 1994; Van Boven *et al.* 1997).



**Figure 6:** structure de l'huile de Jojoba ( cire ) (Tietel *et al.* 2021)

#### I.2.2.2.1.1. Esters de cire

Les principaux composants des esters de cire, isolés et identifiés lors d'études antérieures, sont présentés dans le Tableau3.

**Tableau 3 :** Structures chimiques des composants ester de cire les plus abondants en cire de Jojoba (Gad *et al.* 2021).

| Structure chimique | R <sub>1</sub>                  | R <sub>2</sub>                                       | Nom du composé            |
|--------------------|---------------------------------|--|---------------------------|
|                    | C <sub>18</sub> H <sub>37</sub> | C <sub>17</sub> H <sub>35</sub>                      | Éicosénoate de docosényle |
|                    | C <sub>18</sub> H <sub>37</sub> | C <sub>17</sub> H <sub>35</sub>                      | Éicosénoate d'écosenyle   |
|                    | C <sub>18</sub> H <sub>37</sub> | C <sub>19</sub> H <sub>39</sub>                      | Docosénoate d'écosenyle   |
|                    | C <sub>16</sub> H <sub>33</sub> | C <sub>19</sub> H <sub>39</sub>                      | Docosénoate de docosényle |
|                    | C <sub>18</sub> H <sub>37</sub> | C <sub>17</sub> H <sub>33</sub><br>(C <sub>9</sub> ) | Oléate d'écosenyle        |
|                    | C <sub>20</sub> H <sub>41</sub> | C <sub>17</sub> H <sub>33</sub><br>(C <sub>9</sub> ) | Oléate de docosényle      |

#### I.2.2.2.1.2. Acides gras et alcools

L'huile de jojoba est particulièrement riche en acides gras monoinsaturés (AGMI), qui représentent environ 97 % de sa composition. Cette l'huile contient par ailleurs de faibles concentrations

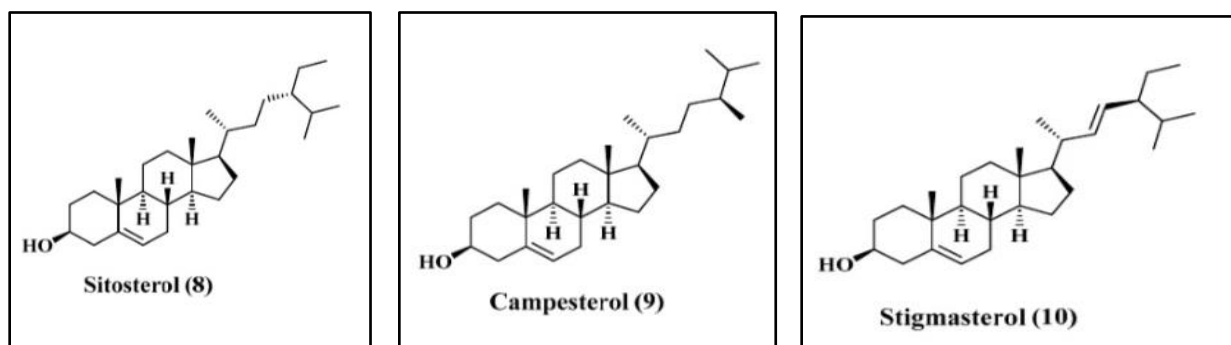
d'acides gras libres (0,96 %) et d'alcools libres (1,11 %). Parmi les AGMI, on trouve notamment l'acide gadoléique, également appelé eicosénoïque (Sánchez *et al.* 2016), comme illustré dans le Tableau 4.

**Tableau 4:** La composition on acides gras de l'huile de Jojoba (Sham *et al.* 2012) .

| Acide gras              | Structure | Composition (%) |
|-------------------------|-----------|-----------------|
| Acide palmitique        | C16 :0    | 1.6             |
| Acide palmitoléique     | C16 :1    | 0.10            |
| Acide stéarique         | C18 :0    | 0.14            |
| Acide oléique           | C18 :1    | 11.20           |
| Acide linoléique        | C18 :2    | 1.0             |
| Acide gamma-linolénique | C18 :3    | 1.0             |
| Acide arachidique       | C20 :0    | 0.20            |
| Acide gadoléique        | C20 :1    | 70.70           |
| Acide érucique          | C22 :1    | 14.10           |
| Acide nervonique        | C24 :1    | 1.64            |

#### I.2.2.2.1.3. Stérols

L'huile de Jojoba ne contient pas de cholestérol, qui est un stérol présent chez les animaux. En tant que substance d'origine végétale, elle renferme plutôt des phytostérols, dont la structure est similaire à celle du cholestérol, mais dont les fonctions biologiques sont différentes. Les principaux phytostérols identifiés dans l'huile de Jojoba sont le campesterol, le stigmasterol et le  $\beta$ -sitostérol, connus pour leurs propriétés bénéfiques pour la peau. La plupart de ces stérols sont représentés dans la figure7, et leur composition est détaillée dans le Tableau 5.(Van Boven *et al.* 1997; Wisniak, 1987).



**Figure 7:** structures des principaux stérols présents dans l'huile de Jojoba (Gad *et al.* 2021).

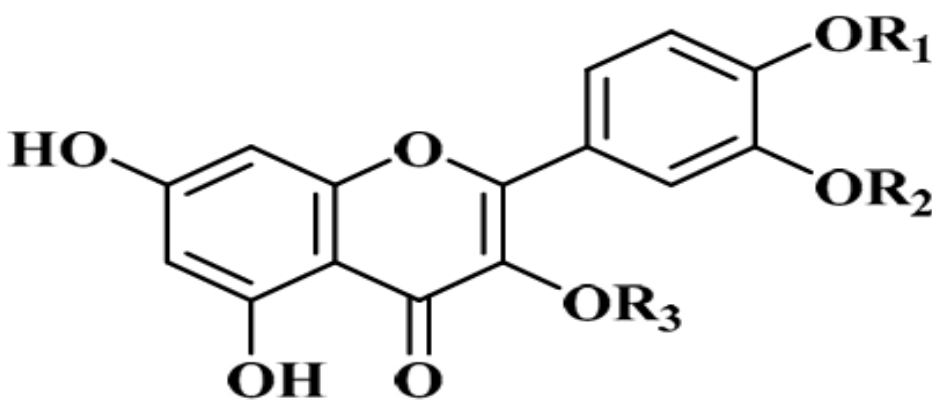
**Tableau 5 :** le pourcentage moyen de la teneur en stérols dans l'huile de Jojoba (Gad *et al.* 2021).

| Stérol       | Fraction de stérol (%) |
|--------------|------------------------|
| Stigmasterol | 6.7                    |
| Campesterol  | 16.9                   |
| Sitostérol   | 69.9                   |

#### I.2.2.2.1.4. Flavonoïdes et composés phénoliques

Les flavonoïdes et les composés phénoliques sont des métabolites secondaires que l'on retrouve dans la nature, mais leur concentration dans le Jojoba est relativement faible. Parmi eux, dix flavonoïdes ont été identifiés, notamment la quercétine et ses dérivés (isorhamnétine, typhaneoside), ainsi que plusieurs glycosides et lignanes (wisniak, 1987). Comme indiqué dans le Tableau 6.

**Tableau 6 :** Structures chimiques des flavonoïdes les plus abondants dans le Jojoba (Gad *et al.* 2021).

|  |    |    |             |
|--|----|----|-------------|
|  |    |    |             |
|  | R1 | R2 | R3          |
| Quercétine   | H  | H  | H           |
| Isorhamnétine  | H  | ME | H           |
| Quercétine 3-méthyl éther  | H  | H  | ME          |
| Quercétine 3,3'-méthyl éth   | H  | ME | ME          |
| Isorhamnétine 3-O-glucoside  | H  | ME | GLC         |
| Quercétine-3-O-glucoside   | H  | H  | GLC         |
| Typhanéoside   | ME | H  | GLC-RHA     |
| Isorhamnétine 3-O-rutinoside   | ME | H  | RHA-GLC-RHA |
| Quercétine 3-O-rutinoside  | H  | H  | GLC – RHA   |

#### I.2.2.2.1.5. Vitamines liposolubles

La vitamine D et ses dérivés, notamment les tocophérols  $\alpha$ ,  $\gamma$  et  $\delta$ , ont été identifiés et quantifiés dans l'huile de Jojoba. Parmi ces composés, le  $\gamma$ -tocophérol se distingue par sa prédominance, représentant environ 79 % de l'ensemble. En outre, d'autres vitamines liposolubles, telles que la

vitamine A, ont également été détectées, témoignant de la richesse nutritionnelle et fonctionnelle de cette huile (Gad *et al.* 2021).

### **I.2.2.3. Utilisation traditionnelle de l'huile de Jojoba**

Le Jojoba possède une histoire ethnobotanique riche en raison de son utilisation généralisée par les populations autochtones vivant dans les déserts arides du sud-ouest des États-Unis et du nord-ouest du Mexique. Les jésuites dans cette région ont rapporté l'emploi de Jojoba pour divers problèmes de peau et de cuir chevelu. En 1789, l'historien mexicain *Francisco J. Clavijero* mentionne pour la première fois que les Amérindiens de Basse-Californie tenaient en haute estime le fruit comme aliment et l'huile comme remède. « On prétend que deux à trois graines de Jojoba consommées le matin sont bénéfiques pour l'estomac. Les graines broyées mélangées au chocolat facilitent l'accouchement naturel pour les femmes. Les graines grillées et moulues sont efficaces contre les plaies sur le visage. L'onguent à base d'huile stoppe les frissons et, en étant ingéré en quantités appropriées, les élimine progressivement. » Il a également été le premier à noter comment les Indiens utilisaient les noix pour traiter les blessures, où les noix de Jojoba étaient placées dans des cendres brûlantes jusqu'à ce que l'huile commence à s'écouler. « Ensuite, elles étaient broyées sur des roches, et la substance semblable à une pommade qui en résultait était appliquée sur la blessure. Ce baume est conçu pour guérir rapidement les coupures, les égratignures et les blessures. »

Parmi les autres applications médicinales mentionnées à l'époque, on trouve la guérison de l'incontinence, l'aide à la perte de poids, l'amélioration des fonctions hépatiques, le renforcement de l'immunité corporelle, le traitement du cancer et la stimulation de la croissance des cheveux (Emily La Brique, 2022)

### **I.2.2.4. Utilisations pharmacologiques**

#### **❖ Propriétés anti-inflammatoires analgésiques, et antipyrétiques**

L'huile de Jojoba est reconnue pour ses propriétés anti-inflammatoires, qui ont été étudiées dans le cadre de l'inflammation aiguë et chronique de la peau. Ces effets incluent la réduction de la douleur et de l'œdème causés par la chaleur ou les coups de soleil. L'action anti-inflammatoire de l'huile de Jojoba repose sur le blocage des enzymes cyclooxygénase II (COX II) et lipoxygénase (LOX), impliquées dans les processus inflammatoires. Une étude réalisée en 2005 a confirmé son

potentiel en montrant une diminution de l'œdème et de la teneur en prostaglandine E2 (PGE2) chez le rat (Gad *et al.* 2021).

#### ❖ Activités antimicrobiennes

L'huile de Jojoba présente une activité inhibitrice marquée à l'égard de la croissance des bacilles responsables de la tuberculose, de la lèpre ainsi que des bactéries du genre *Brucella*. Cette inhibition est liée à la similitude chimique entre les cires de Jojoba et les graisses qui forment la gaine des bacilles, empêchant ainsi la pénétration des antibiotiques (Gad *et al.* 2021).

#### ❖ Usage dans la protection des principes actifs

Des études ont montré que l'huile de Jojoba pouvait former des particules capables de micro-encapsuler la pénicilline, facilitant ainsi son administration par voie orale (Sy, 2007).

#### ❖ Usage technologique dans la production d'antibiotiques

Elle est utilisée dans les milieux de fermentation pour la préparation des pénicillines ou des céphalosporines (Sy, 2007)

#### ❖ Activités antioxydantes

Grâce à ses propriétés antioxydantes, l'huile de Jojoba possède des propriétés protectrices contre les dommages oxydatifs associés à l'hyperglycémie et donc prometteuse pour la prévention et le traitement du diabète (Zahid *et al.* 2024)

### I.2.2.5. Les affections cutanées

Les préparations topiques contenant de l'huile de Jojoba ont été employées pour optimiser l'efficacité des traitements médicaux visant les affections cutanées (Ajazuddin *et al.*, 2013).

#### ❖ Effet cicatrisant

L'huile de Jojoba est un prometteur pour stimuler la cicatrisation des plaies. Des études préliminaires montrent que l'huile de Jojoba encourage les cellules de la peau à se lier après avoir été séparées par une coupure. Ses bienfaits sont également liés à sa capacité à atténuer les cicatrices. Ces propriétés cicatrisantes seraient notamment attribuées à sa teneur naturelle en vitamine E (Kimya, 2020) .

### ❖ Desquamation de la peau

L'huile de Jojoba est liée à son action sur la kératine, pour traiter la desquamation excessive de la peau (Tietel *et al.* 2021).

### ❖ Acné

L'huile de jojoba est une solution naturelle idéale pour combattre l'acné. Grâce à ses propriétés antibactériennes et anti-inflammatoires, elle contribue à atténuer les imperfections ainsi que les zones de sécheresse. Étant non comédogène, elle n'obstrue pas les pores, ce qui réduit les risques de développer des boutons (Marion, 2024). Ses propriétés en tant que cire liquide permettent la dissolution des dépôts de sébum dans les follicules pileux, grâce à sa capacité à pénétrer les follicules et à éliminer les comédons, ce qui permet de nettoyer la peau (Gad *et al.* 2021).

### ❖ Anti-âge

L'huile de Jojoba joue un rôle clé dans la lutte contre le vieillissement de la peau. Grâce à sa richesse en antioxydants, notamment la vitamine E, elle aide à neutraliser les radicaux libres qui sont à l'origine du vieillissement cutané. Cette capacité antioxydant contribue à réduire les manifestations visibles du vieillissement telles que les rides et les ridules (Emily La Brique, 2022) .

## I.2.2.6. Cosmétiques

### ❖ Soins corporels et cosmétique

L'huile de Jojoba à une grande capacité d'hydratation de la peau, d'une haute résistance à l'oxydation, de capacité à pénétrer dans la peau et de solubiliser les médicaments insolubles. (Gad *et al.* 2021). Elle est également largement utilisé dans les produits de soin capillaire, tels que les shampoings, les gels et les mousses (Orwa *et al.* 2009) .

### ❖ Les propriétés hydratantes

L'huile de Jojoba est largement appréciée pour sa capacité à hydrater. Sa formule distinctive lui permet de fonctionner comme un hydratant. En outre, elle crée une barrière protectrice sur la peau afin de minimiser la perte d'hydratation. Grâce à ces caractéristiques, l'huile de Jojoba se révèle être une option idéale pour les peaux sèches. Elle contribue également à garder la peau douce, lisse et souple (Marnys, 2019) .

### ❖ **Maquillage**

Un démaquillage doux et efficace. Elle élimine le maquillage long tenu tout en dissolvant l'excès de sébum, laissant la peau propre et nourrie (Marnys, 2019).

#### **I.2.2.7. Santé**

### ❖ **Protection du foie**

L'acide jojobénoïque présent dans huile de Jojoba a prouvé son efficacité dans la protection du foie des rats contre les effets toxiques du FB1 (Zahid *et al*, 2023).

### ❖ **Obésité**

L'huile de Jojoba contribue à une réduction significative du poids corporel, de la masse grasse et de la résistance à l'insuline. Elle exerce également une action préventive contre le syndrome métabolique (Kakarla *et al*. 2005).

#### **I.2.2.8. Applications industrielles**

La stabilité de l'huile de Jojoba la rend attrayante pour les industries électroniques et informatiques, et elle est également adaptée à la sulfuration pour produire de l'huile de lubrification et un matériau semblable au caoutchouc convenant à une utilisation dans les encres d'impression et le linoléum (Orwa *et al*. 2009).

En tant qu'additif, elle améliore également la qualité des peintures, vernis, plastiques et cires, offrant ainsi une meilleure résistance et durabilité aux matériaux (Sy, 2007)

D'autres utilisations : les bougies, les plastifiants, les détergents, les retardateurs de flamme et l'industrie du cuir (Orwa *et al*. 2009).

#### **I.2.2.9. Agriculture**

La plante est cultivée dans des zones arides pour stabiliser les sols (Orwa *et al*. 2009) .

#### **I.2.2. Tourteaux de Jojoba**

Le tourteau de Jojoba est un sous-produit obtenu après l'extraction de l'huile des graines de Jojoba (figure8) (Mohamed *et al*. 2023). Il représente environ 50 % du poids total des graines (Wisniak, 1977), et constitue une source précieuse de fibres alimentaires (Arya *et al*. 2016). Riche en protéines (30 à 35 %), il est principalement composé d'albumines (79 %) et de globulines (21 %)

(Shrestha *et al.* 2002). Bien que riche en lysine (lys), il est pauvre en méthionine (met) (Yermanos, 1974).

Grâce à ses propriétés, il peut être utilisé comme additif alimentaire, aliment médical ou aliment fonctionnel. Certaines études ont montré qu'il pouvait jouer un rôle dans le contrôle du poids corporel en agissant comme un supplément alimentaire (Abdou, 2018). Notamment grâce à la présence de composés aux effets coupe-faim (Beauty, 2007).

Le tourteau de Jojoba contient un composé toxique appelé simmondsine, ainsi que des inhibiteurs de trypsine, des phénols et des tanins, qui peuvent avoir des effets indésirables (Cokelaere *et al.* 1995).

Une fois dégraissé et stabilisé, il est utilisé dans des produits de soins de la peau, tels que les gommages, les savons et autres cosmétiques, sans risque de rancissement prématuré (Beauty, 2007).

Dans l'alimentation animale, le tourteau de Jojoba possède un potentiel intéressant, mais nécessite une détoxification préalable (Flo *et al.* 1999).

Des études ont rapporté une toxicité des tourteaux de jojoba chez les animaux, entraînant une altération de la croissance et des effets néfastes sur certains organes tel que le pancréas, le foie et les testicules à des doses élevées (Booth *et al.* 1974).

Il se distingue également par sa forte teneur en azote, ce qui en fait un excellent engrais pouvant enrichir les sols pauvres en matière organique, notamment en terres désertiques (Hosseini *et al.* 2011)

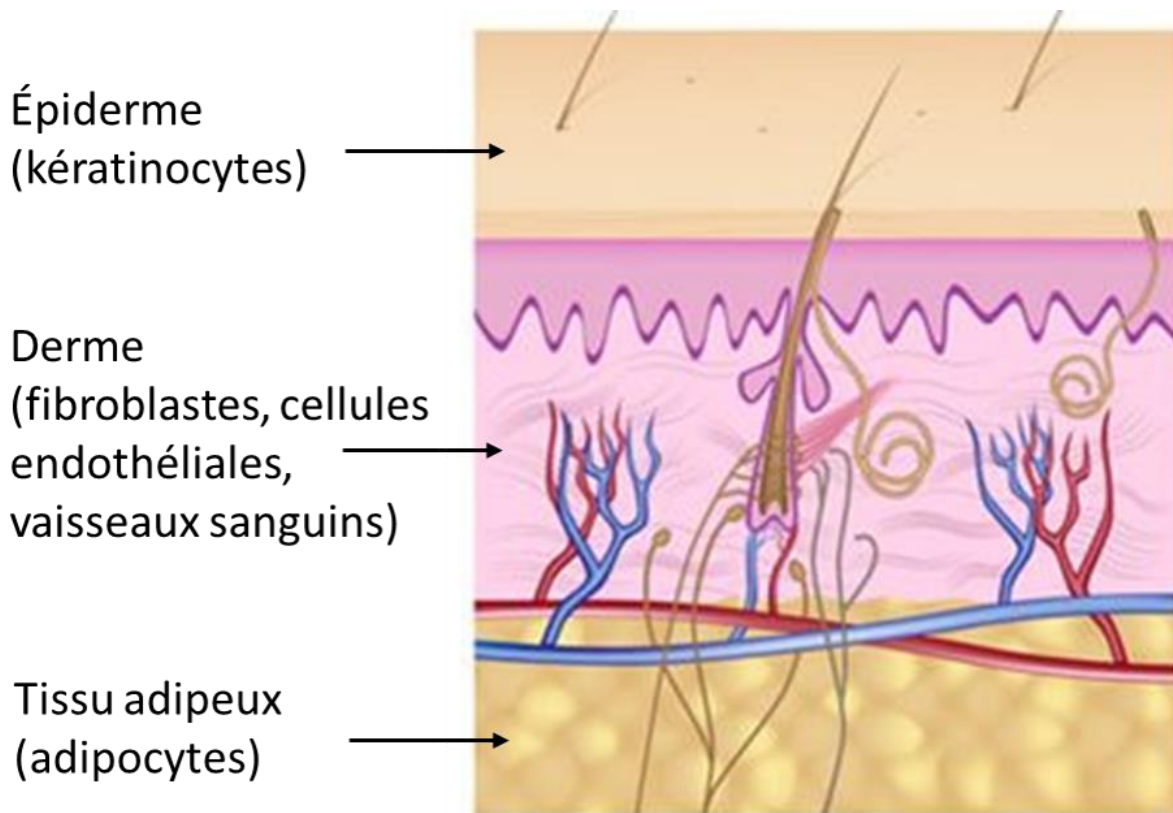


**Figure 8:** tourteaux de Jojoba après le processus d'extraction de l'huile Rajasthan, Inde (Bala, 2021).

## II. Données bibliographiques sur la peau

### II.1. Structure de la peau :

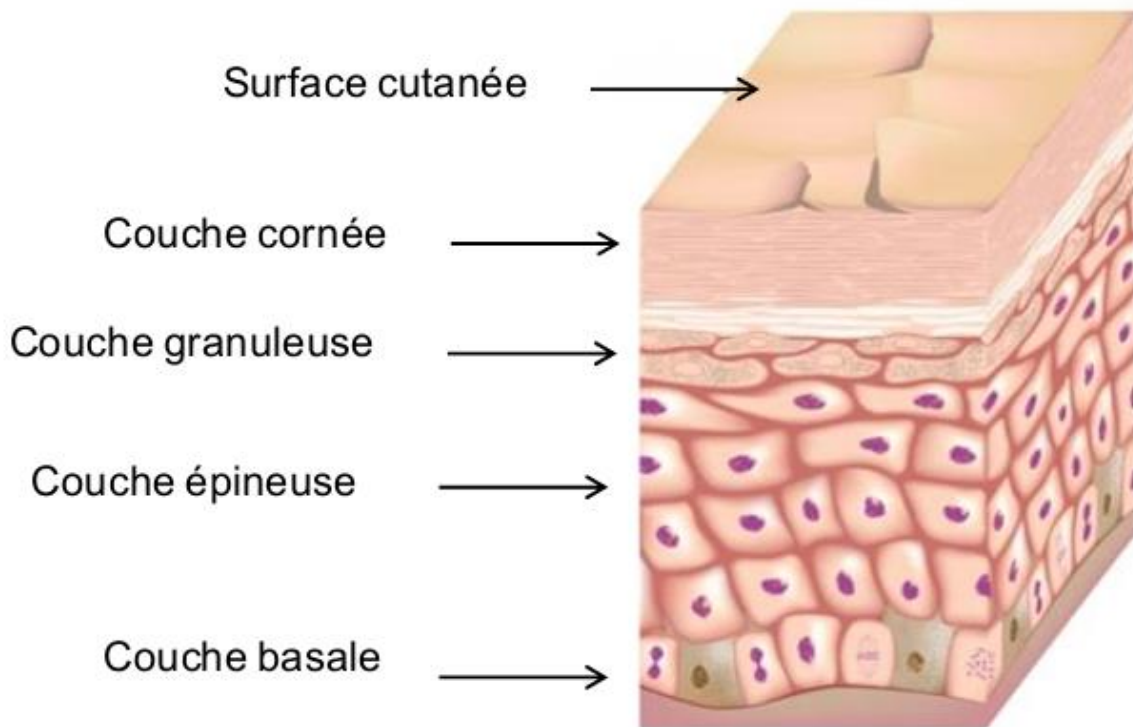
L'organe le plus vaste, le plus lourd, le plus densément peuplé et le plus réceptif (Testard-Vaillant, 2016). Un organe complexe ayant 4 fonctions essentielles : une fonction de protection, une fonction de sensibilité, une fonction métabolique et une fonction de thermorégulation (Geras, 1990). Elle est en continuité avec les membranes muqueuses tapissant les cavités naturelles de l'organisme. Les annexes cutanées comprennent d'une part les phanères (poils et ongles) et d'autre part les glandes sébacées et sudoripares. La composition de la peau est complexe. Elle se divise en quatre couches superposées, de la surface vers la profondeur : l'épiderme, la jonction dermo-épidermique, le derme et l'hypoderme (figure9) (Latarjet, 2024)



**Figure 9:** structure de la peau (Matsui *et al.* 2014)

### II.1.1. L'épiderme

C'est la couche la plus superficielle, innervée, non vascularisée et en constant renouvellement (environ 28 jours) (Latarjet, 2024). Son épaisseur varie de 40  $\mu\text{m}$  à 1 à 6 mm selon sa localisation anatomique. L'épiderme est constitué de plusieurs couches : basale, épineuse, granuleuse, claire et couche cornée (figure10) (Geras, 1990).



**Figure 10:** différentes couches de l'épiderme(Twarog, 2018)

#### II.1.1.1. Les kératinocytes

Les kératinocytes en prolifération garantissent la régénération de l'épiderme par un processus de différenciation, menant à la production de kératine qui confère à la peau sa résistance mécanique et son imperméabilité (Latarjet, 2024). Forment les couches basale et épineuse, connectées par des desmosomes. Se multiplient dans la couche basale, puis ils se différencient graduellement pour créer les diverses couches de l'épiderme se déplace de la couche profonde vers la surface où il se desquame (figure11) (Geras, 1990).

#### II.1.1.2. Les mélanocytes

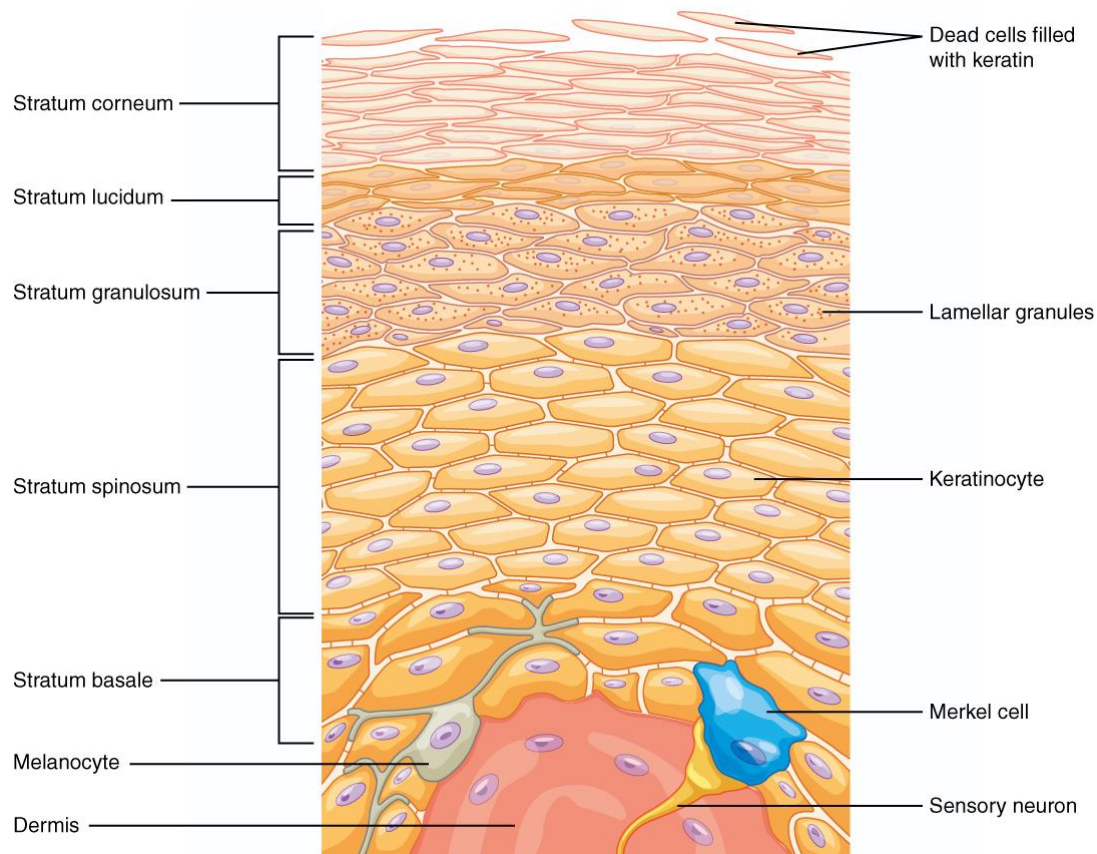
Qui produisent la mélanine à travers le processus de mélanogénèse, sont responsables de la pigmentation de la peau (figure11) (Latarjet, 2024).

#### II.1.1.3. Les cellules de Langerhans

Jouent un rôle crucial dans l'immuno-compétence cutanée. Le rôle de barrière immunitaire entraînant une réaction cellulaire (figure11) (Latarjet, 2024).

#### II.1.1.4. Les cellules de Merkel

Récepteurs sensoriels qui auraient une fonction tactile et favoriseraient la libération de neuromédiateurs (figure11) (Latarjet, 2024).



**Figure 11:** structure de l'épiderme (Biga et al. 2019)

#### II.1.2. La jonction dermo-épidermique

La jonction dermo-épidermique unit l'épiderme au derme et est constituée de la lame basale ainsi que des systèmes d'ancrage. Les hémidesmosomes attachent les kératinocytes basaux à la lame,

tandis que les fibres d'ancrage, principalement le collagène VII, s'associent avec la membrane basale pour créer un réseau qui emprisonne les fibres de collagène. Cette jonction exerce une fonction de soutien mécanique, facilitant le transfert de nutriments entre ces deux tissus (Prost, 2006).

### **II.1.3. Le derme :**

Le derme est un tissu conjonctif mesurant entre 1 et 2 mm, qui se trouve entre l'épiderme et l'hypoderme. Il est riche en vaisseaux sanguins, fibroblastes, fibres nerveuses et récepteurs sensoriels. Sa couche superficielle présente de fines fibres de collagène, tandis que dans la couche profonde, on trouve des fibres plus épaisses, des glandes, des follicules et une structure microfibrillaire. L'épaisseur du derme augmente jusqu'à l'âge de 50 ans, puis elle commence à diminuer (figure12) (Ruggiero *et al.* 2005).

#### **II.1.3.1. Les fibroblastes**

Les fibroblastes du derme synthétisent du collagène, de l'élastine et des glycoprotéines, établissant ainsi la matrice extracellulaire ( MEC) (Pesteil *et al.* 2017).

#### **II.1.3.2. Les macrophages :**

Les cellules du système immunitaire possèdent la faculté de phagocyter les débris cellulaires ainsi que les agents pathogènes. En outre, elles exposent les antigènes aux lymphocytes et aux autres cellules du système immunitaire (Peter, 2024).

#### **II.1.3.3. Les cellules dendritiques :**

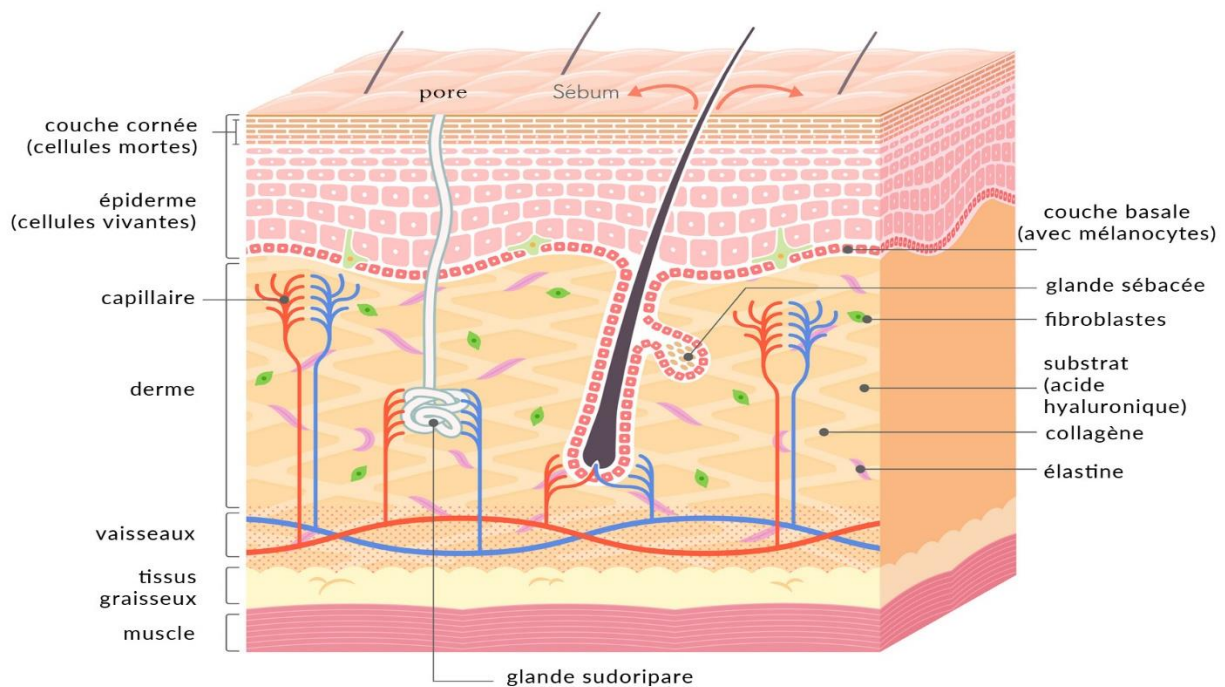
Les cellules dendritiques, en capturant un antigène (Ag), peuvent se transformer en cellules présentatrices d'antigène. Elles possèdent donc la capacité de déclencher la réponse immunitaire après avoir migré vers les ganglions lymphatiques (Le Borgne *et al.* 2007).

#### **II.1.3.4. Les mastocytes :**

Les mastocytes sont des cellules granuleuses qui renferment des médiateurs chimiques comme l'histamine, l'héparine et les protéases. Libérés en réponse à des antigènes spécifiques, ces médiateurs ajustent ou intensifient les réponses inflammatoires. Ils jouent un rôle dans des conditions dermatologiques telles que l'urticaire, le psoriasis, l'allergie de contact et la dermatite atopique (Bonneville, 2006).

### II.1.3.5. La matrice extracellulaire

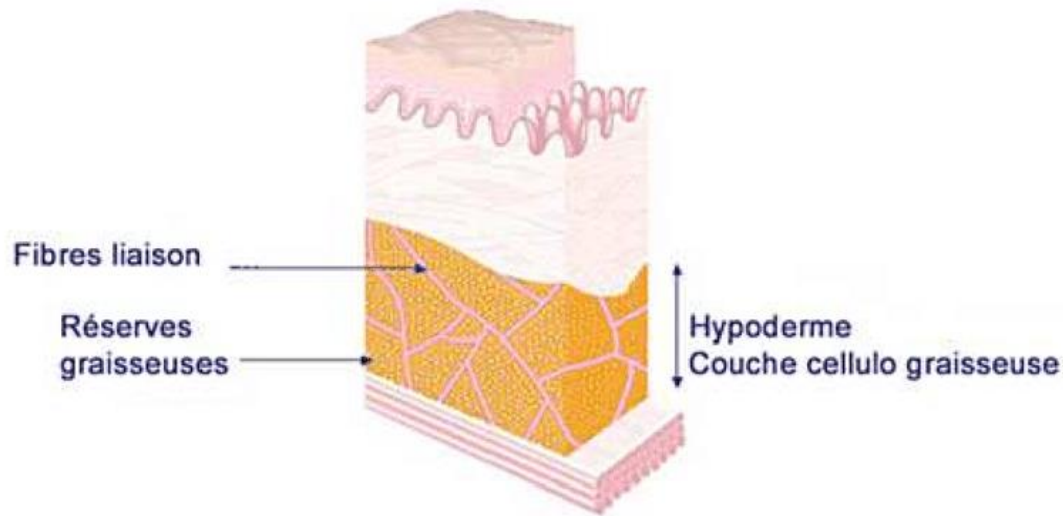
La MEC se compose d'acide hyaluronique, de collagène et de fibres élastiques, qui garantissent la flexibilité, l'hydratation et la fermeté du derme. Elle contient aussi des glycoprotéines telles que la fibronectine, qui facilite la guérison en encourageant la migration des cellules vers les zones endommagées (De Jaeger *et al.* 2012).



**Figure 12:** structure du derme (Julie Peyre, 2021).

### II.1.4. L'hypoderme

L'hypoderme : est la plus épaisse des couches de la peau, constituée de groupes de graisse entourés de tissu conjonctif, traversés par des nerfs et des vaisseaux sanguins. Il joue un rôle essentiel en tant qu'une réserve d'énergie et calorique, et intervient également dans la thermorégulation et l'équilibre hydrique de l'organisme (figure13) (Prost-Squarcioni, 2006).



**Figure 13:** structure de l'hypoderme (Azzez, 2019).

## II.2. La cicatrisation

Le processus de cicatrisation cutanée apparaît lorsque la peau présente une plaie récente. L'épiderme et le derme sont mis en jeu par l'intermédiaire de leurs cellules constitutives et par les interactions entre ces deux structures. La cicatrisation s'amorce donc au moment de la lésion du derme et se divise en trois phases qui se chevauchent : inflammatoire, proliférative et de remodelage (Faivre, 1991).

### II.2.1. Première phase : Inflammatoire

La première étape du processus de réparation tissulaire suite à une blessure est principalement marquée par une réaction inflammatoire. Elle commence par la création d'un caillot de fibrine qui agit comme une MEC temporaire et attire les cellules inflammatoires. Ce caillot, bien qu'il soit principalement composé de fibrine, comporte également des protéines qui facilitent l'adhésion et la migration cellulaire, telles que la fibronectine et la vitronectine. En outre, il libère des facteurs de croissance : PDGF (Facteur de croissance dérivé des plaquettes), FGF2 (Facteur de croissance des fibroblastes 2), EGF (Facteur de croissance épidermique) qui stimulent la multiplication et la migration des cellules nécessaires à la régénération des tissus. La fibrine est ensuite dégradée progressivement par la plasmine et l'élastase neutrophile, entraînant la libération de fibrinopeptides qui soutiennent l'inflammation en attirant les neutrophiles, les monocytes et les macrophages. Les

fragments issus de cette dégradation, comme les D-dimères, encouragent également la production d'IL-1 $\beta$  et d'IL-6, qui sont des cytokines pro-inflammatoires, ainsi que la création de MEC et la révascularisation des tissus, amorçant ainsi la phase suivante de réparation (figure14) (Hu, 2011).

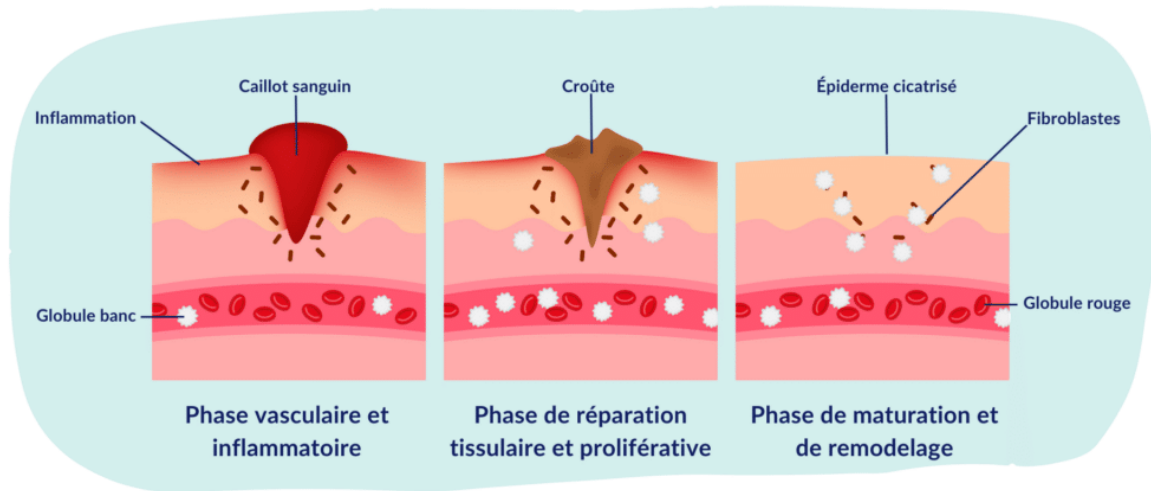
### II.2.2. Deuxième phase : Prolifération

La deuxième phase du processus de cicatrisation se concentre sur la fermeture de la plaie ainsi que sur la création d'une matrice collagénique temporaire, essentiellement composée de collagène de type III. En parallèle, la réépithélisation de la plaie se produit grâce à la migration des kératinocytes à partir des bords de la plaie. Ce phénomène est principalement dû à la sécrétion du FGF-7 (Facteur de croissance des fibroblastes 2), également connu sous le nom de KGF (facteur de croissance des kératinocytes), par les fibroblastes situés autour de la plaie. Petit à petit, le caillot de fibrine, envahi par des fibroblastes et des cellules endothéliales attirés par les divers facteurs chimiotactiques émis par les cellules inflammatoires infiltrées, est remplacé par une matrice collagénique. Les cellules endothéliales développent des bourgeons capillaires puis des néo-vaisseaux pour rétablir la vascularisation du tissu endommagé, tandis que les fibroblastes se transforment en myofibroblastes, une forme activée des fibroblastes, qui sécrètent de grandes quantités de collagène et facilitent la contraction de la plaie (figure14) (Hu, 2011).

### II.2.3. Troisième phase : Remodelage

La troisième phase du processus de cicatrisation se distingue par le réaménagement de la matrice de collagène produite par les fibroblastes. Cette étape, pouvant s'étendre sur plusieurs mois, voire des années, implique un grand nombre de protéinases, notamment des métalloprotéinases matricielles, qui facilitent la destruction du collagène III initialement formé et son remplacement progressif par une MEC mature, majoritairement composée de collagène de type I, menant à la création de la cicatrice (figure14) (Hu, 2011).

### Les 3 phases de la cicatrisation



**Figure 14 :** les 3 phases de la cicatrisation (élisabethsanchez, 2023) .



---

# Chapitre 02 :

## matériel et méthodes

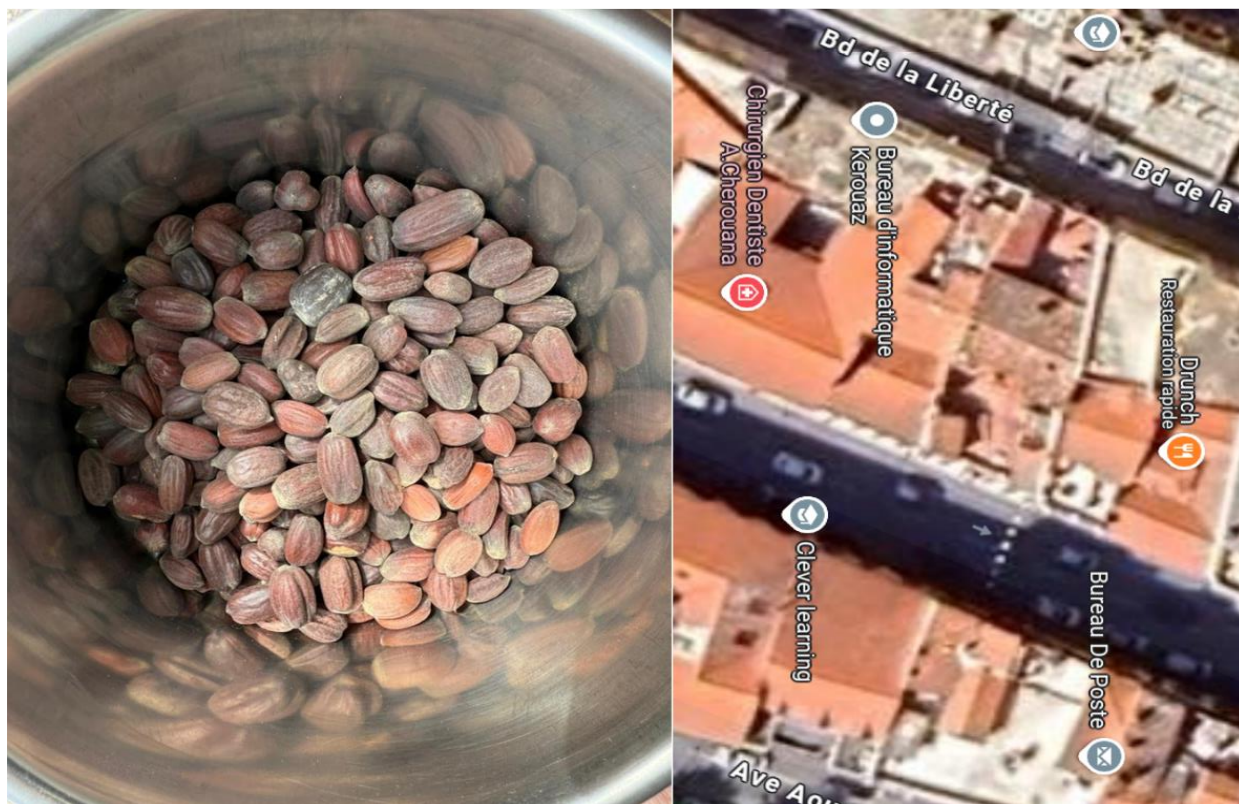
---



## I. Etude phytochimique

### I.1. Matériel végétal

Dans ce travail expérimental, la plante étudiée est le jojoba. Les graines de jojoba ont été achetées déjà séchées chez herboriste situé dans les arcades de la wilaya de Constantine.



**Figure 15** : photo originale des graines de jojoba et lieu d'achat des graines.

#### I.1.1. Extraction de l'huile de jojoba

Nous avons pesé 200 g de graines de jojoba pour en extraire l'huile végétale, cette extraction a été réalisée par pression mécanique à froid.

Le processus inclut les étapes suivantes :

##### I.1.1.1. Préparation des graines

La récolte de l'huile de jojoba commence par une phase de préparation, qui consiste à laver, sécher les graines. Cette préparation est effectuée par herboriste lui-même. Nous avons donc pu commencer l'extraction de l'huile directement en pesant 200 g de graines de jojoba.

### I.1.1.2. Extraction de l'huile

À l'aide d'une machine de pression à froid (Comaf), les graines sont introduites dans une presse mécanique. Cette pression libère une huile dorée ainsi que des résidus solides appelés tourteaux.

### I.1.1.3. Filtration de l'huile

Utilisation de filtres métalliques pour éliminer les impuretés visibles et améliorer la clarté de l'huile.

### I.1.1.4. Stockage de l'huile

L'huile extraite est stockée dans un flacon de 60 ml, fermé par un bouchon pour une bonne conservation. Elle est conservée à l'abri de la lumière, de la chaleur et de l'humidité pour préserver ses propriétés.



**Figure 16:** le processus de l'extraction de l'huile

1 : préparation des graines, 2 : machine de pression à froid (Comaf), 3 : filtration de l'huile

4 : huile de jojoba, 5 : tourteaux, 6 : stockage de l'huile.

## I.2. Calcul du rendement

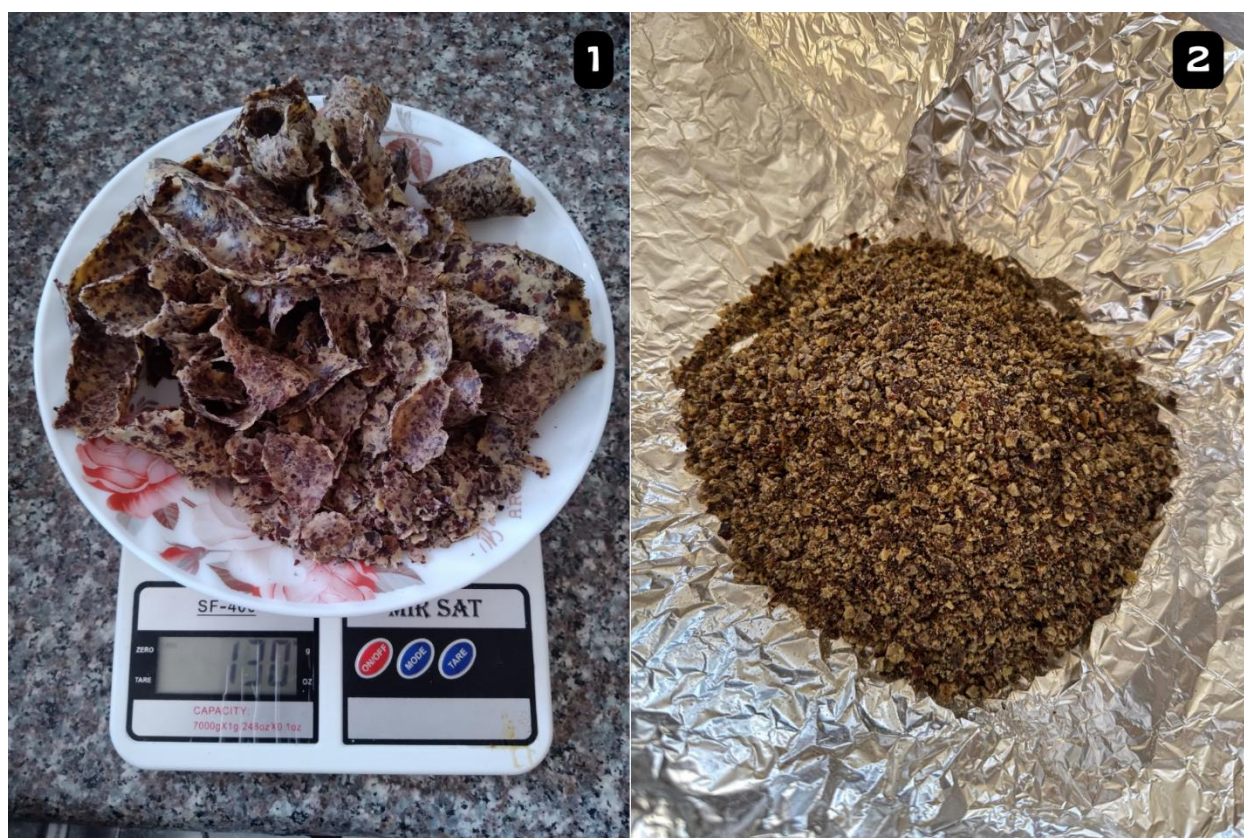
Le rendement est la quantité maximale de l'huile essentielle que donne une masse donnée de matière végétale pendant une période donnée. C'est le rapport entre la masse de l'huile essentielle obtenue sur la masse du matériel végétal utilisé (**International Olive Oil Council 2011**).

## I.3. Extraction des tourteaux de jojoba

La préparation de l'extrait des tourteaux de jojoba, comprends plusieurs étapes à savoir :

### I.3.1. Broyage

Environ 130 g de tourteaux de jojoba (résidu des graines après extraction de l'huile) ont été broyés à l'aide d'un broyeur électrique afin de réduire la taille des particules.



**Figure 17** : étapes de broyage des tourteaux de jojoba

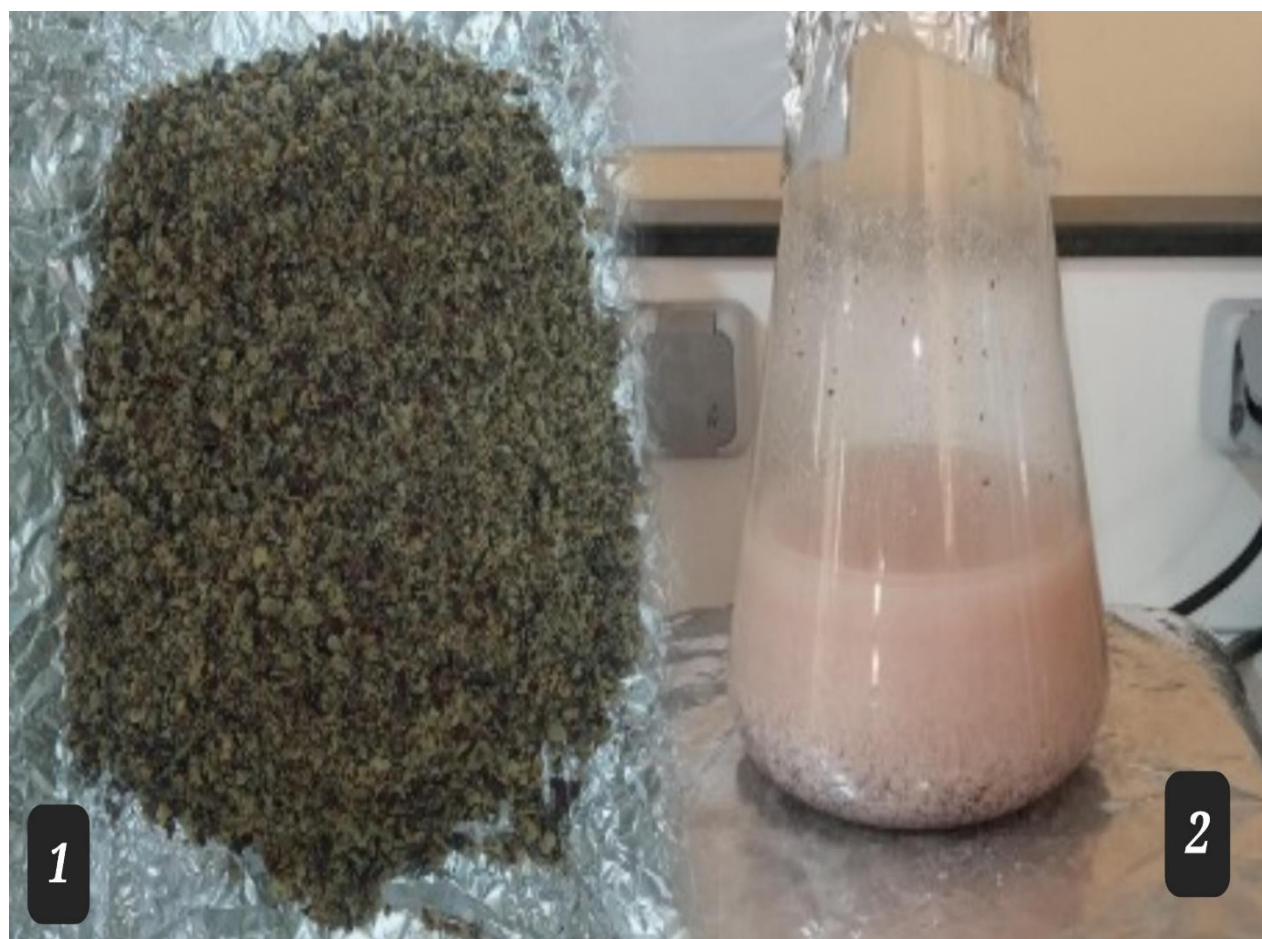
1: tourteaux en état normal, 2 : tourteaux broyés

### I.3.2.Extraction solide liquide par macération

La macération est un procédé qui consiste à immerger les particules broyées dans un mélange de solvant à froid, permettant l'extraction des composés solubles (principes actifs) (**Bouhekrit, 2023**).

La macération a été réalisée dans un erlenmeyer par un mélange de méthanol/eau (80:20).

(Un mélange méthanol/eau 80:20 signifie qu'il est composé de 80 % de méthanol et 20 % d'eau.)



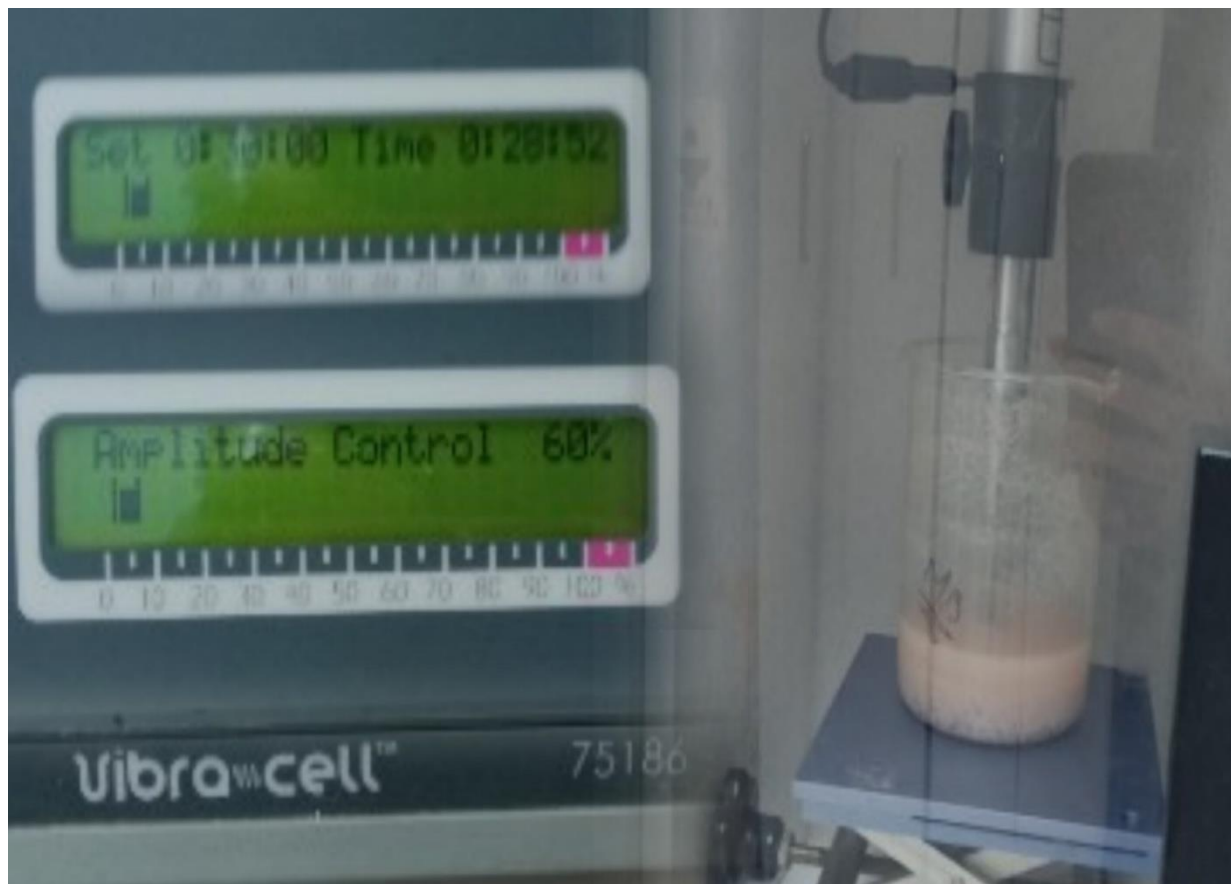
**Figure 18 : macération des tourteaux de jojoba**

1 : tourteaux broyés, 2 : mélange des tourteaux avec méthanol/eau (80:20)

### I.3.3.Extraction par ultrasons

L'extraction a été réalisée à l'aide de l'appareil Sonicateur Vibra Cell, avec un contrôle d'amplitude réglé à 60 % pendant 30 min.

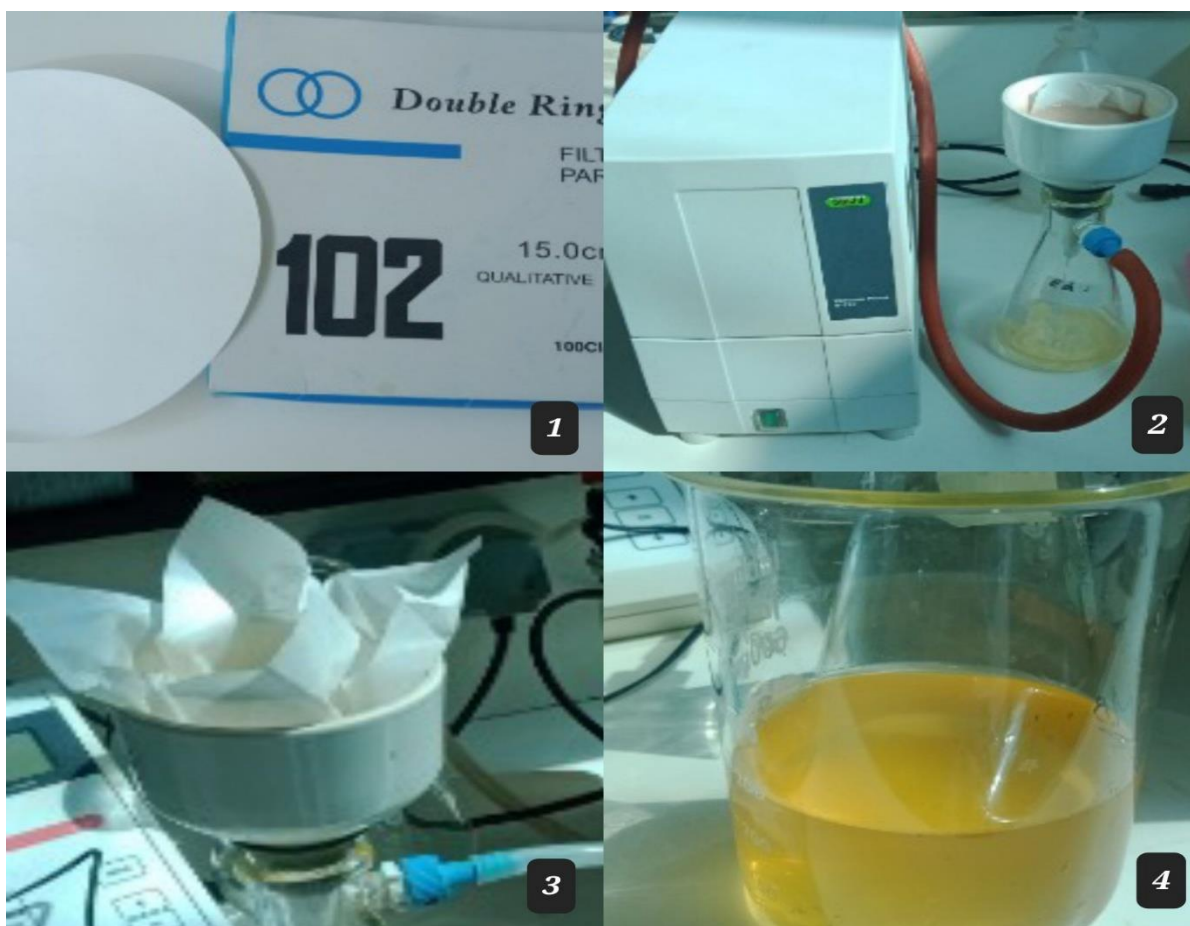
Cette technique permet l'agitation de l'échantillon, entraînant l'éclatement des parois cellulaires des tourteaux, améliorant ainsi la pénétration du solvant et accélérant l'extraction des composés bioactifs.



**Figure19** : extraction par ultrasons

#### **I.3.4.Filtration**

Une filtration sous vide a été appliquée sur l'échantillon après l'agitation ultrasonique afin de purifier la solution en séparant les particules solides du liquide. La filtration a été réalisée avec un papier filtre de 11 cm.



**Figure 20 :** filtration du l'extrait

1: papier filtre de 11cm, 2: appareil de la filtration, 3: Un entonnoir Büchner (en céramique),  
4: extrait liquide des tourteaux

### **I.3.5.Évaporation**

Le solvant a été évaporé à l'aide d'un évaporateur rotatif sous pression, permettant son élimination. Ensuite, les composés sensibles ont été retirés laissant un extrait riche en principes actifs.



**Figure 21** : évaporation du l'extrait

1: évaporateur rotatif sous pression, 2:extrait riche en principes actifs

Les mesures des absorbances des activités biologiques ont été faites à l'aide d'un lecteur de microplaque de 96 puits de la marque PerkinElemer. Avec un logiciel EnSpire au niveau du laboratoire de Biochimie au CRBt de Constantine.

#### **I.4. Dosage des polyphénols et flavonoïdes**

##### **I.4.1. Polyphénols totaux**

La teneur en polyphénols totaux est déterminée en utilisant le FCR (réactif de Folin-Ciocalteu) (**Singleton *et al.* 1965**). Selon la méthode de dosage sur microplaque décrite par **Muller *et al.* (2010)**, le FCR, constitué par un mélange d'acide phosphotungstique ( $H_3PW_{12}O_{40}$ ) et d'acide phosphomolybdique ( $H_3PMo_{12}O_{40}$ ), est réduit, lors de l'oxydation des phénols, en mélange d'oxydes de tungstène ( $W_8O_{23}$ ) et de molybdène ( $Mo_8O_{23}$ ).

➤ Les deux sous-produits des graines de jojoba sont préparés dans des eppendorfs :

1. Une masse de 1mg d'extrait des tourteaux de jojoba (ETJ) dissoute dans un volume de 1 ml de méthanol.
2. Une masse de 1mg de l'huile de jojoba (HJ) dissoute dans un volume de 1 ml de méthanol.

Un volume de 20  $\mu\text{l}$  de deux sus- produits (HJ et ETJ) est ajouté à 100  $\mu\text{l}$  de FCR dilué (1 ml de solution FCR concentré est diluée dans 9 ml d'eau distillée 1 :10) et 80  $\mu\text{l}$  de carbonate de sodium (une quantité de 7.5 g de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  est dissouts dans 100 ml d'eau distillée). Le mélange est incubé à l'obscurité pendant 2h.

La coloration bleue produite est proportionnelle à la teneur en polyphénols totaux et possède une absorbance maximum aux environ de 750-765 nm.



**Figure 22:** dosage des polyphénols

#### I.4.2. Flavonoïdes totaux

Selon la méthode de dosage sur microplaque présentée par (Topçu *et al.* 2007), avec quelques ajustements, le dosage des flavonoïdes totaux repose sur la formation d'un complexe entre ion aluminium trivalent ( $\text{Al}^{3+}$ ) et les flavonoïdes. Un lecteur de microplaque (Perkin Elmer, Enspire) est utilisé pour mesurer l'absorbance.

Dans une microplaque de 96 puits, 50  $\mu\text{l}$  d'extrait (préparé dans des tubes Eppendorf de la manière suivante : 1 mg d'ETJ dissous dans 1 ml de méthanol, et 1 mg d'HJ dissous dans 1 ml de méthanol) sont ajoutés à un mélange composé de 130  $\mu\text{l}$  de méthanol, 10  $\mu\text{l}$  de la solution 1 (contenant 9,8 g d'acétate de potassium ( $\text{CH}_3\text{COOK}$ ) dissous dans 100 ml d'eau distillée) et 10  $\mu\text{l}$  de la solution 2 (contenant 10 g de nitrate d'aluminium ( $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ ) dissous dans 100 ml d'eau distillée). Le tout a été incubé pendant 40 minutes, puis l'absorbance a été mesurée à 415 nm.



**Figure 23** : dosage des flavonoïdes

## **I.5. Activité antioxydante et anti-solaire**

### **I.5.1. Activité antioxydante**

L'étude de l'activité antioxydante des deux sous-produits de jojoba : HJ et ETJ a été testée selon deux méthodes : piégeage du radical libre DPPH et réduction par la formation du complexe Fe<sup>2+</sup>-phenanthroline.

#### **I.5.1.1. Activité anti-radicalaire du DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle)**

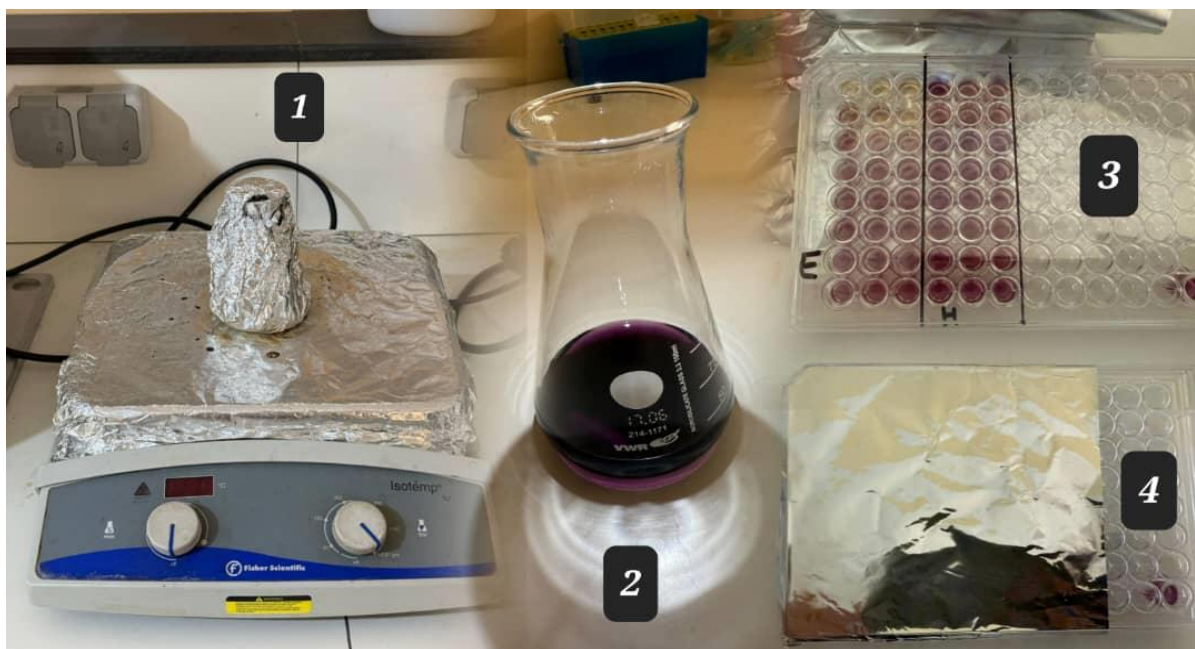
Selon la méthode de Blois 1958, l'activité anti-radicalaire libre est déterminée par le dosage du DPPH (Blois, 1985). BHT (Butylhydroxytoluène) et Trolox sont utilisés comme standards antioxydant.

40 µl de l'échantillon à différentes concentrations (7 dilution qui sont déjà préparé pour les deux sous-produits des graines), ont été ajoutés à 160 µL de DPPH préparée à une concentration de (0,1 mM). L'absorbance a été mesurée par spectrophotométrie à une longueur d'onde de 517 nm après une incubation de 30 minutes à température ambiante et à l'abri de la lumière.

$$DDPH (\%) = \frac{A_{\text{contrôle}} - A_{\text{échantillon}}}{A_{\text{contrôle}}} \times 100$$

A contrôle : absorbance du DPPH seul.

A échantillon: absorbance du DPPH avec l'échantillon.



**Figure 24** : différentes étapes de l'activité DPPH

- 1 : Le DPPH placé dans un agitateur thermique « Fisher Scientific » 2 : la couleur violette du DPPH, 3 : les échantillons à différentes concentration dans les puits de la microplaque, 4 : incubation de 30 minutes à température ambiante et à l'abri de la lumière.

#### **I.5.1.2. Activité Phenanthroline**

L'activité de réduction par la formation du complexe  $\text{Fe}^{2+}$  (ion ferreux) phenanthroline est mesurée selon la méthode décrite par (Szydłowska-Czerniaka, 2008). Le Trolox est utilisé comme standard.

10  $\mu\text{l}$  de l'extrait de différentes concentrations (7 dilutions qui sont déjà préparés pour les deux sous-produits des graines) ont été mélangé avec 50  $\mu\text{l}$   $\text{FeCl}_3$  (chlorure de fer(3) (0.2%), 30  $\mu\text{l}$  Phenanthroline (0.5%) et 110  $\mu\text{l}$  de méthanol. Le mélange a été agité et incubé pendant 20 minutes à l'étuve à température de 30°C. L'absorbance a été déterminée à 510 nm.

Les résultats ont été calculés à titre d' $\text{A}_{0.5}$  ( $\mu\text{g/ml}$ ) correspondant à la concentration indiquant 0,50 d'absorbance.



**Figure 25 :** différentes étapes de l'activité Phenanthroline

1 : les échantillons à différentes concentrations dans les puits de la microplaque, 2 : mélange incubé à l'étuve à 30°C pendant 20 minutes, 3 : les microplaques dans étuve.

### I.5.2. Antisolare SPF (Sun Protection Factor)

L'HJ et ETJ ont été évaluées selon la méthode décrite par ( **Mansur *et al.* 1986**) qui est utilisée pour déterminer le facteur de protection solaire (SPF) des écrans solaires. Elle repose sur l'absorption des rayons UV par les composés actifs présents dans les formulations solaires. L'échantillon a été dissous dans du méthanol à une concentration de 2 mg/mL (2000 ppm). Par la suite, l'absorbance a été mesurée à sept longueurs d'onde différentes, espacées de 5 nm, allant de 290 à 320 nm.

Le SPF est le rapport calculé selon la formule ci-après :

$$\text{SPF} = \text{CF} \times \sum \text{EE}(\lambda) \times I(\lambda) \times \text{Abs}(\lambda)$$

Où :

EE (λ) est le spectre d'effet érythémal

I (λ) est le spectre d'intensité solaire

L'ABS (λ) est l'absorbance du produit de protection solaire.

CF : La mucoviscidose est un facteur de correction (-10).

Les valeurs de  $EE(\lambda) \times I(\lambda)$  sont des constantes établies par (**Sayre *et al.* 1979**). Et sont affichées dans le tableau 07

**Tableau 1:** corrélation entre l'effet érythématogène (EE) et l'intensité du rayonnement à chaque longueur d'onde (I) (**Mansur *et al.* 1986**).

| Longueur d'onde $\lambda$ (nm) | EE ( $\lambda$ ) $\times$ I ( $\lambda$ ) (Normalisé) |
|--------------------------------|---|
| 290                            | 0.0150  |
| 295                            | 0.0817  |
| 300                            | 0.2874  |
| 305                            | 0.3278  |
| 310                            | 0.1864  |
| 315                            | 0.0837  |
| 320                            | 0.0180  |
| Total                          | 1   |

## II. Activité cicatrisante

### II.1. Animaux

Notre travail a porté sur des rats blancs femelles de souche Wistar. Le choix des rats Wistar pour notre étude s'explique par leurs nombreuses similitudes avec les humains, leur réaction aux médicaments est de manière similaire à celle des humains, permettant ainsi d'évaluer leur efficacité avant les essais cliniques. De plus, leur grande taille facilite les manipulations expérimentales (**Homberg *et al.* 2017**). Notamment les interventions chirurgicales, garantissant une meilleure précision dans le suivi des effets cicatrisants.

L'étude est réalisée sur 9 rats femelles Wistar avec un poids corporel de 180-225 g, obtenus auprès de l'Institut Pasteur d'Alger (IPA). L'expérience est réalisée avec l'approbation du Comité d'éthique local de l'université de Constantine 01. Tous les animaux sont logés dans des cages en plastique (trois rats par cage :  $n=3$ ) dotées d'une étiquette indiquant le nom du groupe.

L'environnement est contrôlé, avec une température de  $22 \pm 03^{\circ}\text{C}$  et une photopériode de 12 h/12 h pendant toute l'expérience.

Le poids corporel des rats est mesuré chaque 1j/2j. Après deux semaines de période d'adaptation, les animaux sont divisés en trois (03) groupes.



**Figure 26 :**les rats wistar et la localisation géographique de l'animalerie

L'étude vise à évaluer l'effet des deux sous-produits des graines de jojoba (l'HJ et les ETJ) sur la cicatrisation des plaies. Nous avons suivi la méthodologie décrite dans l'article suivant (**Begum *et al.* 2024**).

#### **II.1.1. Préparation des rats**

Après 15j d'adaptation, chaque rat a été pesé Ainsi, trois lots de rats sont répartis comme suit :

- 1er lot témoin négatif : constitué de 3 rats et rien n'est appliqué comme traitement de cicatrisation.
- 2ème lot destiné pour l'application de l'HJ : constitué de 3 rats traités par 1ml de l'HJ une fois par jour.

- 3<sup>ème</sup> lot destiné pour l'application d'ETJ : constitué de 3 rats traités par 1ml d'ETJ une fois par jour

1. La première étape a consisté en leur lavage, suivi d'une période de séchage avant le début du protocole expérimental.



**Figure 27** : préparation des rats pour l'intervention

1 : nettoyage des rats, 2 : les rats sont placés dans des cages pour permettre un séchage naturel,

3 : les rats sont prêts pour l'intervention

### II.1.2. Anesthésie

Avant de faire l'anesthésie il fallait calculer le poids des rats et la dose de anesthésié :

- ❖ La moyenne du poids des rats est : 220g
- ❖ La Ketamile (0.44 ml) et le xilazi (1.1 ml) ont été utilisé pour l'anesthésie

Administration intrapéritonéale en utilisant une seringue stérile.



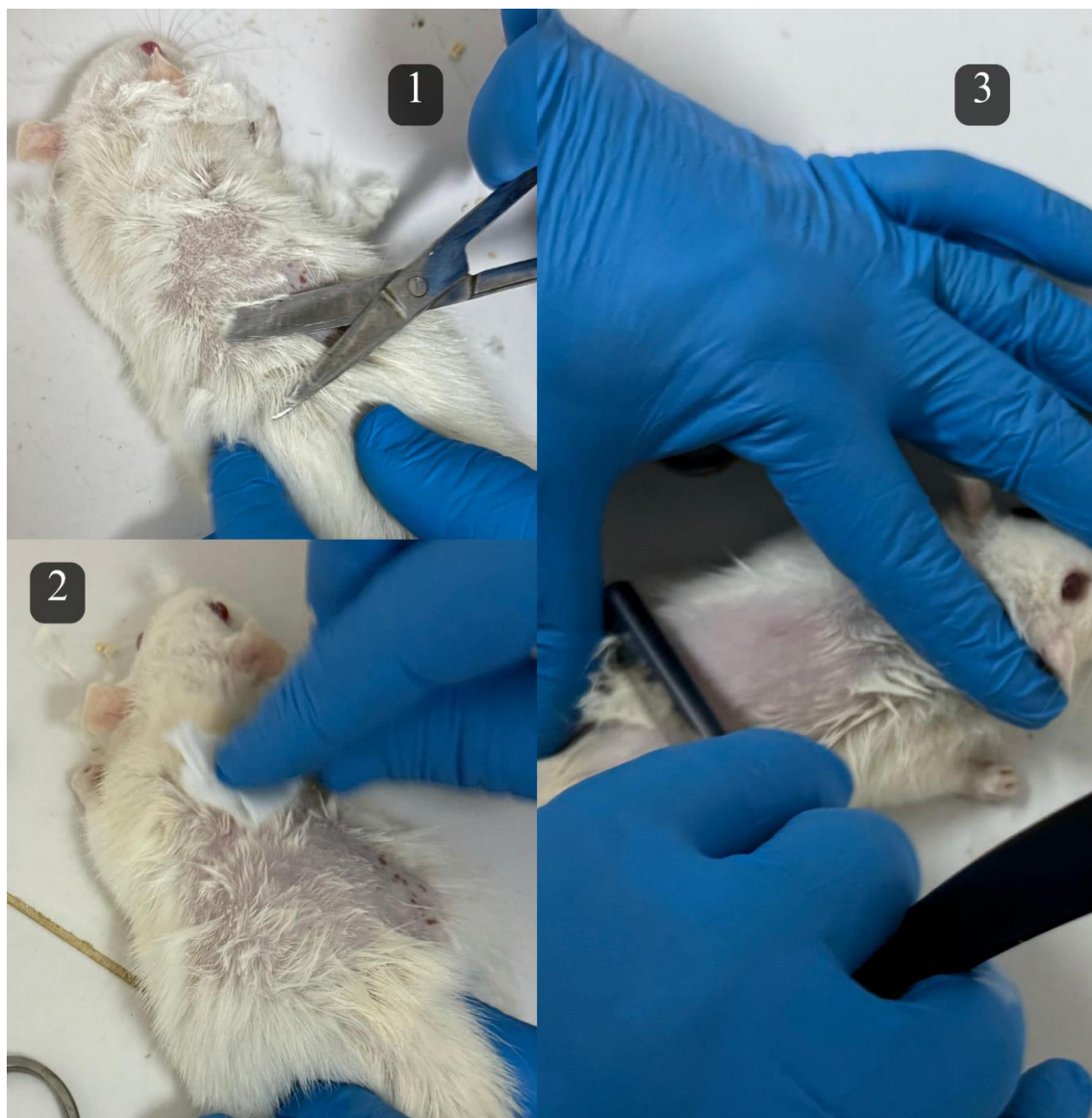
**Figure 28 : les étapes d'anesthésie**

1 : préparation de la solution xilazi , 2 : préparation de la solution de kétamile

3 : Administration intrapéritonéale

### II.1.3. Création des plaies

Après dix minutes sous anesthésie, les rats ont d'abord subi un rasage avec des ciseaux afin d'éliminer les parties les plus longues de leur pelage. Un nettoyage avec l'eau chaude et de compresses a ensuite été effectué pour préparer la peau. Enfin, le rasage a été complété avec des rasoirs, permettant de dégager précisément la zone ciblée pour l'intervention.



**Figure 29 :** les étapes de rasage des rats

1 : rasage avec des ciseaux, 2 : nettoyage avec l'eau chaude et de compresses,  
3 : rasage avec des rasoirs

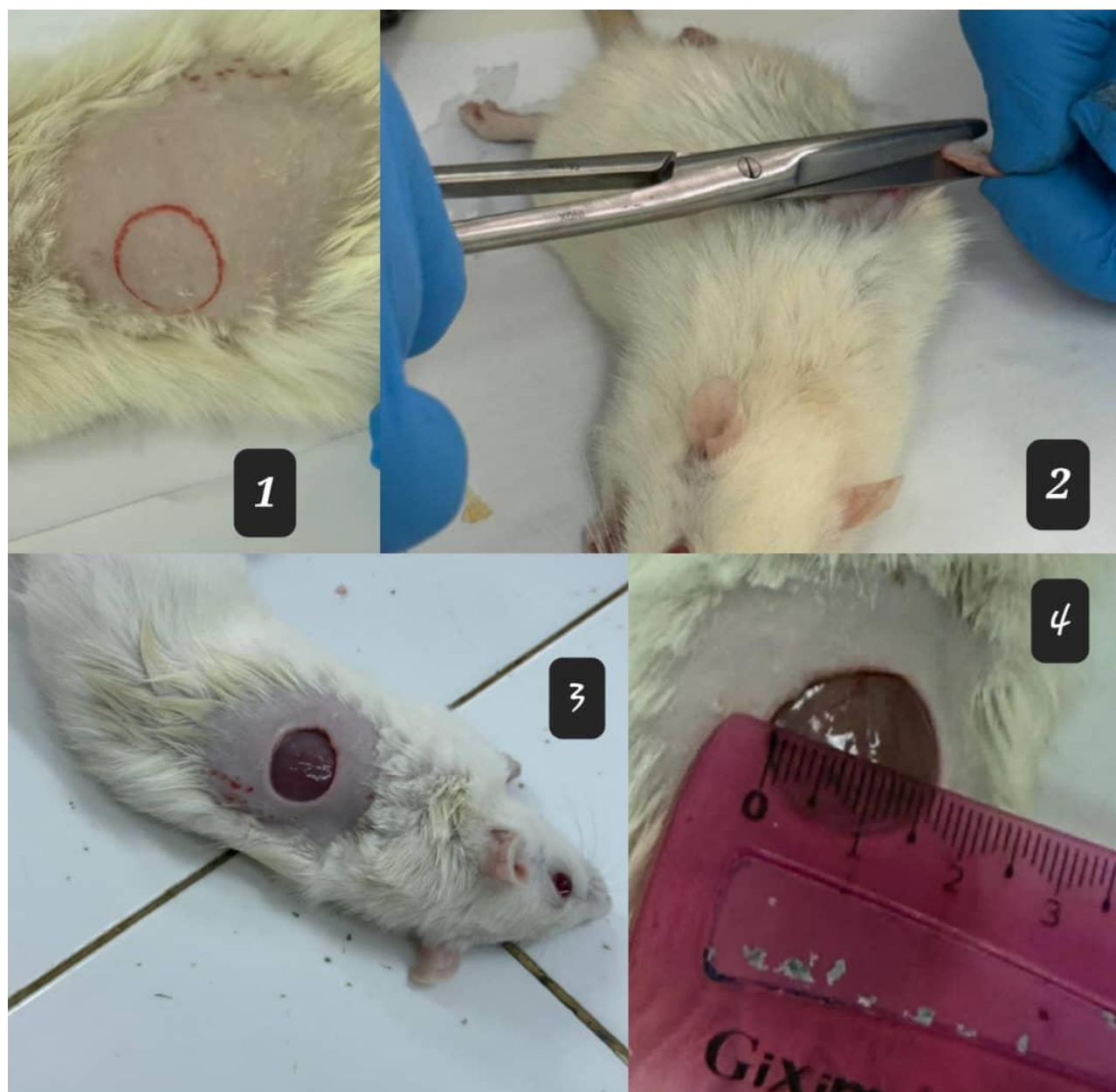
- Ensuite, une anesthésie locale a été appliquée aux neuf rats à l'aide de Xylogel contenant 2 % de chlorhydrate de lidocaïne. Après cette étape, un cercle de 1,6 cm de diamètre a été tracé dans la région dorsale des rats, à environ 5 cm des oreilles.



**Figure 30** : préparation pour intervention

1 : stérilisation du matériel utiliser, 2 : application de l'anesthésie locale Xylogel contenant 2 % de chlorhydrate de lidocaïne sur la zone d'intervention, 3 : traçage d'un cercle de 1,6 cm de diamètre dans la région dorsale des rats, à environ 5 cm des oreilles.

➤ Par la suite, cette zone circulaire a été excisée afin de créer une plaie circulaire.



**Figure 31 : création d'une plaie circulaire**

- 1 : traçage d'un cercle de 1,6 cm de diamètre dans la région dorsale des rats, à environ 5 cm des oreilles, 2 : excision de la zone circulaire, 3 : création de la plaie, 4 : un cercle de 1,6 cm de diamètre a été créé comme plaie.
- 1h après l'intervention, le traitement de cicatrisation a été appliqué de manière différenciée selon les groupes de rats. Pour les rats de la cage du lot 3, 1 ml d'ETJ a été utilisé, tandis que ceux de la cage du lot 2 ont été traités par 1 ml de l'HJ. En revanche, aucun traitement n'a été

appliqué aux rats de la cage du lot 1, afin de servir de groupe témoin et d'observer l'évolution naturelle du processus de guérison.



**Figure 32** : application du traitement sur les rats

1 : application du 1ml d'HJ, 2 : application du 1ml d'ETJ

- Les plaies ont été observées et photographiées tous les deux jours (jours 2, 4, 6, 8, 10, 12 et 15).
- Les animaux ont été pesés chaque 2j pour suivre les fluctuations du poids corporel.

### III. Etude statistique

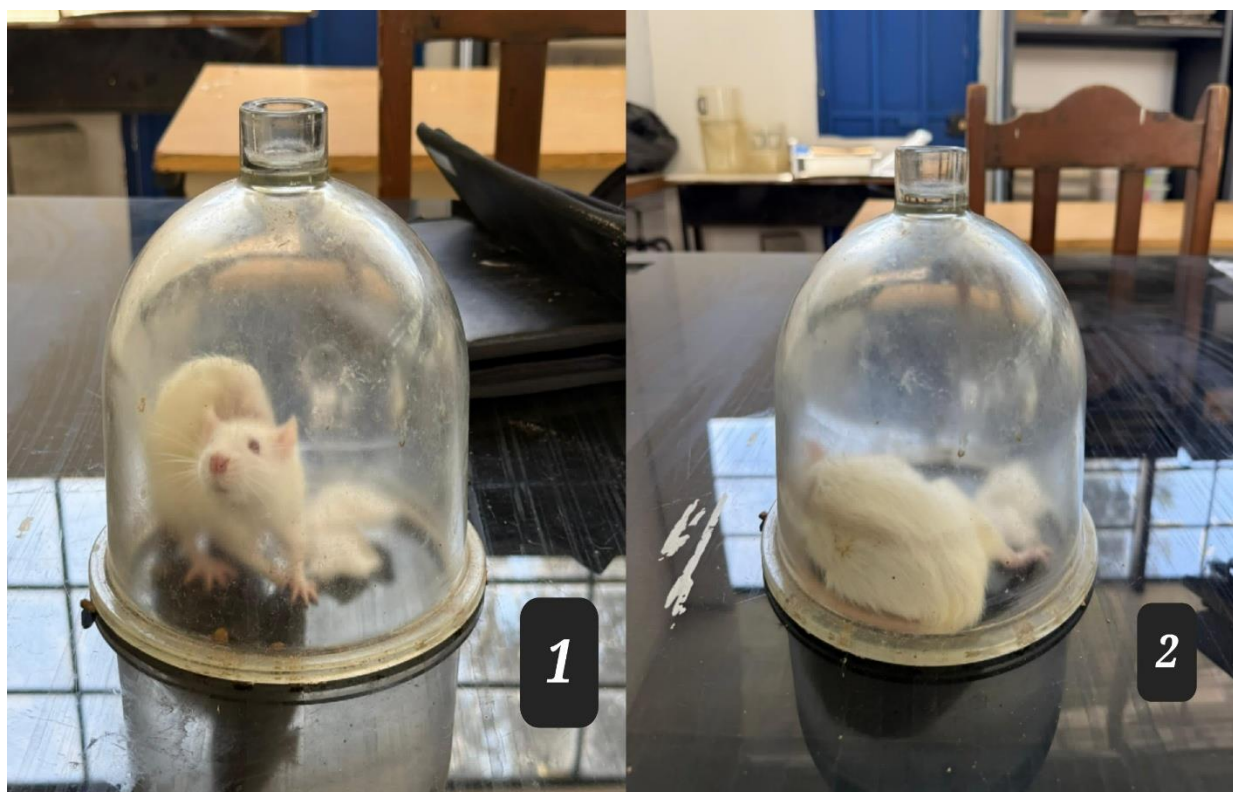
Les données de cicatrisation des plaies ont été analysées par ANOVA à l'aide du logiciel XLSTAT. Les résultats sont présentés sous forme de moyenne  $\pm$  écart type, avec des lettres (a, b, ...) pour indiquer les différences significatives entre les groupes. Les poids des rats ont été comparés à l'aide du test t pour échantillons appariés, en utilisant le logiciel SPSS. Une valeur de  $p < 0,05$  a été considérée comme statistiquement significative.

### IV. Etude histologique

Le but est de savoir l'effet cicatrisant de l'ETJ et l'HJ. L'étude histologique a été réalisée selon le protocole suivi au centre de recherche de biotechnologie, où la pratique y a été effectuée. Cette approche repose sur une série d'étapes, allant de la préparation des tissus, afin de fournir des données fiables et détaillées sur la morphologie et la physiopathologie de la peau.

#### IV.1. Préparation des tissus

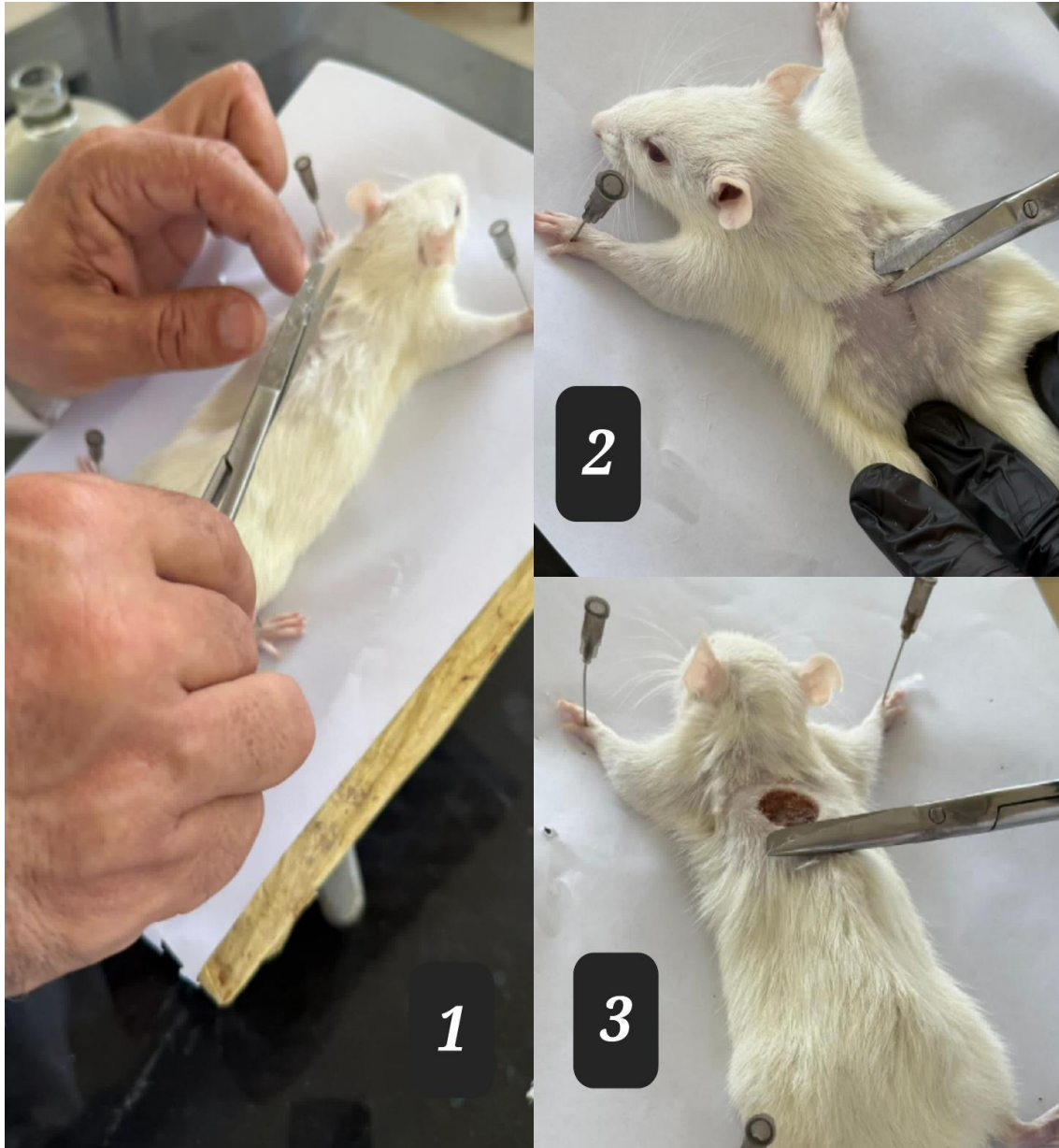
- ❖ Premièrement, les rats ont été anesthésiés à l'aide de chloroforme, placé dans une cloche en verre. Après trois minutes, les rats étaient morts et prêts pour l'intervention.



**Figure 33 : anesthésie des rats**

1: le rat en cours de anesthésie, 2: le rat anesthésié

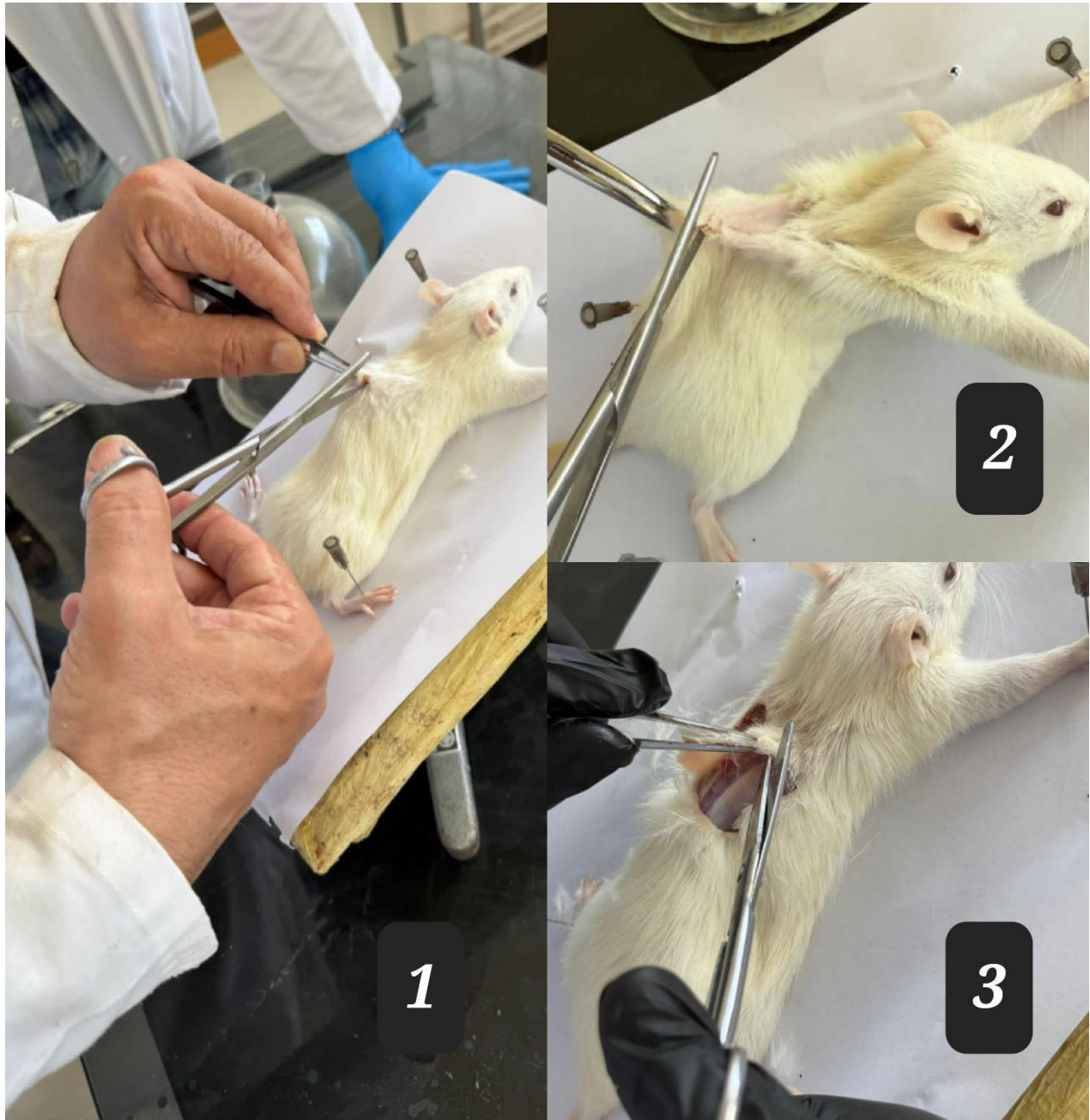
- ❖ Deuxièmement, le pelage des rats a été rasé dans la zone indiquée pour l'intervention.



**Figure 34 : rasage de pelage des rats**

1:rat témoin négatif, 2:rat d'ETJ, 3:rat de l'HJ

- ❖ Troisièmement, la zone entourant la plaie a été excisée à l'aide d'une pince et d'un ciseau.



**Figure 35 :** excision des tissus pour l'analyse anatomopathologique

1 : rat témoin, 2 : rat d'ETJ ,3: rat de l'HJ

- ❖ Quatrièmement, la zone excisée a été placée dans des flacons contenant du formol (10 %)  
Cette étape permet de préserver les tissus et de les fixer.



**Figure36** : les zones excisées des trois groupes expérimentaux

1 : ETJ, 2 : l'HJ, 3 : témoin.

#### **IV.2.Fixation**

Une incision longitudinale d'environ 2 à 4 mm a été effectuée sur les tissus préalablement prélevés et conservés. Ces incisions ont été placées dans des cassettes d'inclusions puis fixées dans du Formol (10%) pendant 24 h.



**Figure 37 :** fixation des peaux dans des cassettes mises dans le formol à 10 %.

1 : Fixation des peaux dans le formol a 10%, 2 : Fixation des échantillons dans des cassettes histologiques, 3 : Découpe et préparation des fragments tissulaires pour inclusion, 4 : Immersion des cassettes dans les solutions de traitement

### IV.3. Déshydratation

Elle implique l'élimination de l'eau des espaces intra et extracellulaires des échantillons, qui est ensuite remplacée par de la paraffine. Cette phase a été effectuée automatiquement à l'aide d'un appareil de traitement des tissus désigné « Automate ».

Dans ce processus, les cassettes contenant les échantillons découpés sont d'abord immergées dans huit récipients d'alcool éthylique avec des concentrations croissantes de 70 à 96%

- Alcool à 70° (1h) : Le tissu est plongé dans de l'alcool à 70° pour débiter le processus de déshydratation.
- Alcool à 70° (1h) : Un second bain dans de l'alcool à 70° garantit une déshydratation initiale complète.
- Alcool à 80° (1h) : Le tissu est transféré dans de l'alcool à 80° pour approfondir la déshydratation.
- Alcool à 96° (1h) : Un bain dans de l'alcool à 96° se poursuit pour continuer le processus de déshydratation.
- Alcool à 96° (1h) : Un second bain dans de l'alcool à 96° renforce le processus de déshydratation.
- Alcool à 96° (1h) : Un troisième bain dans l'alcool à 96° est effectué pour assurer un séchage complet.
- Alcool absolu (1h) : Un passage dans de l'alcool absolu élimine toute humidité résiduelle.
- Alcool absolu (1h) : Un deuxième bain dans l'alcool absolu garantit un séchage intégral.

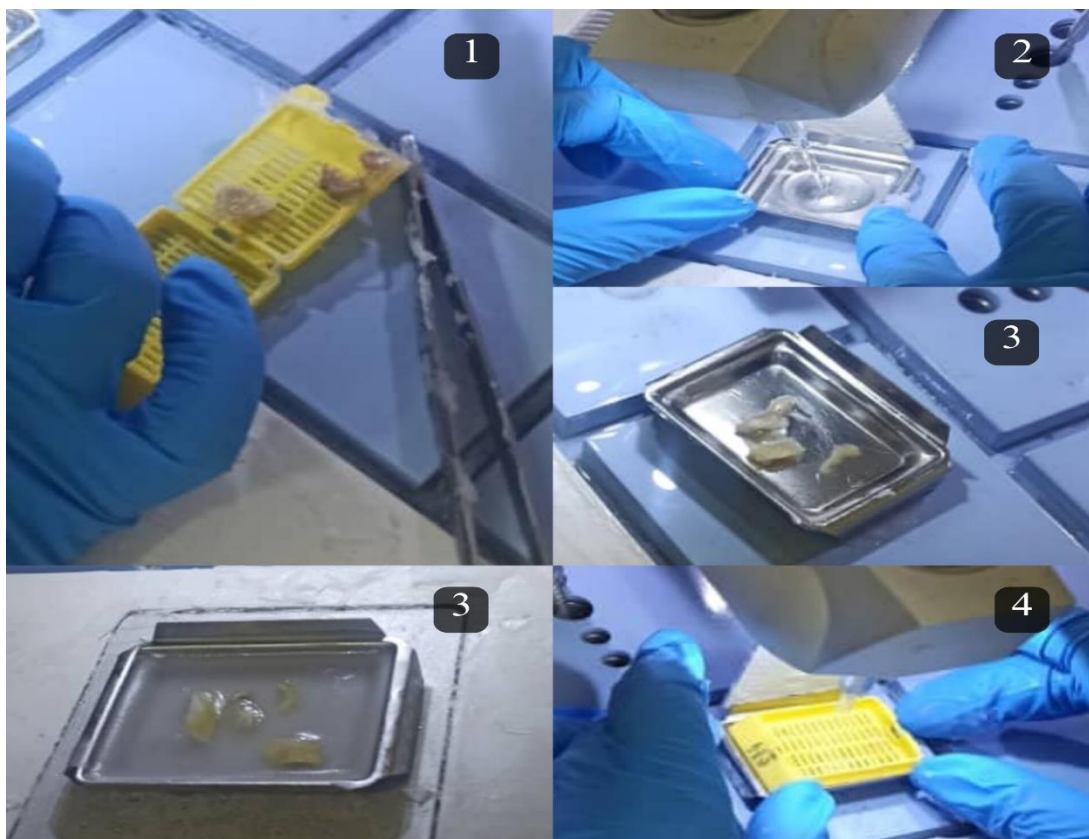
Ensuite, les prélèvements sont immergés dans deux bacs de xylène pour éliminer toute trace d'éthanol, qui éclaircit les échantillons et n'est pas miscible avec la paraffine. Ce processus dans le xylène dure environ 2h .

- Xylène (1h) : Le tissu est alors déplacé vers le xylène, un solvant permettant la déparaffinisation et la déshydratation finale avant l'incorporation dans la paraffine.
- Xylène (1h) : Un second bain dans le xylène s'assure que le tissu est intégralement déparaffiné.

#### IV.4. Inclusion en paraffine

Les échantillons sont ensuite placés dans des moules et imprégnés de paraffine chaude pour former un bloc solide. Une fois qu'on obtient des blocs de paraffine renfermant les échantillons, les protégeant ainsi contre les dommages mécaniques, l'humidité et le dessèchement. Ce processus dans paraffine dure minimum 14h.

- Paraffine (1h) : Le tissu est immergé dans de la paraffine pour l'inclusion, le préparant à être sectionné en fines tranches.
- Paraffine (minimum 12h) : L'échantillon doit être immergé dans la paraffine pendant au moins 12h afin d'assurer une infiltration totale.



**Figure 38** : les étapes de paraffinage

1:Ouverture des cassettes, 2:Dissolution de la paraffine dans les moules, 3:Placement des prélèvements dans des petits moules contenant de la paraffine, 4:Coulement de la paraffine très chaude après avoir positionné la cassette sur le moule.

#### IV.5. Etablissement des rubans

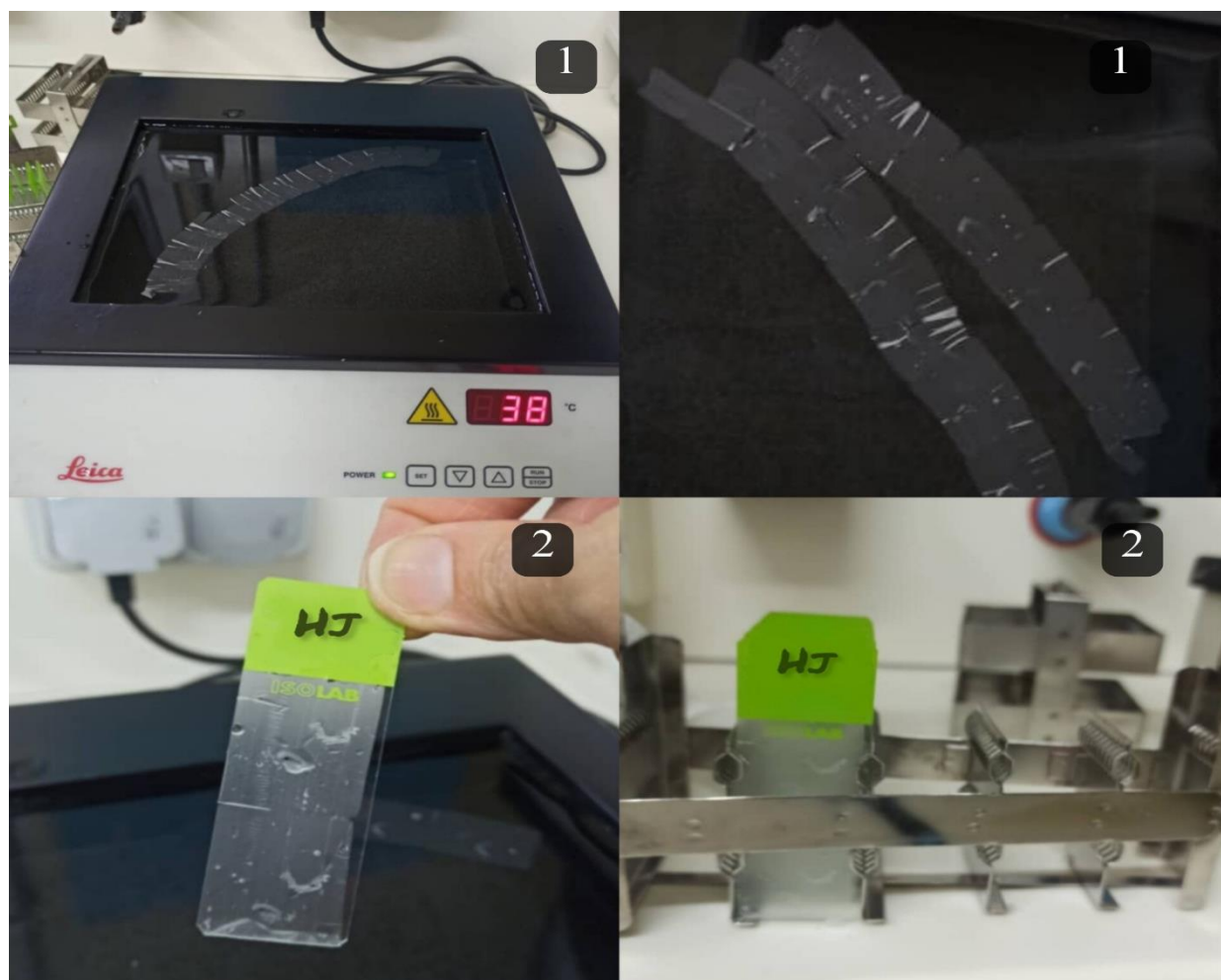
- Une fois le bloc de paraffine est sectionné en tranches extrêmement fines (3 à 5  $\mu\text{m}$  à l'aide d'un microtome).



**Figure 39 : fabrication des rubans**

1: Obtentions du bloc bien dur et refroidi, 2: coupage des blocs obtenus à l'aide d'appareil microtome " Leica "

- Les motifs de coupe tissulaire sont disposés sur des lames dans de l'eau à 45°C, afin de détendre le ruban, puis les lames sont séchées pour garantir une bonne adhésion des tissus à la lame avant le processus de coloration.



**Figure 40** : découpage des rubans

1: coupage des coupes très fines 3 à 4 micron, 2: étalage des prélèvements sur des lames sur un liquide

#### **IV.6. Déparaffinage**

Les lames nécessitent un déparaffinage préalable à la coloration, dans une étuve pendant 10 minutes à 62 °C, afin d'éliminer l'excès de paraffine.

#### **IV.7. Coloration et montage**

- Xylène (15 min) : L'échantillon est immergé dans le xylène afin d'éliminer le surplus de paraffine.
- Xylène (15 minutes) : Un deuxième bain de xylène sert à nettoyer le tissu.
- Alcool 96° (5 min) : Le tissu est traité avec de l'alcool à 96° pour une légère hydratation.

- Alcool 80° (3 min) : L'échantillon est ensuite plongé dans de l'alcool à 80° pour une préparation intermédiaire avant la coloration.
- Alcool 80° (3 min) : Un second passage dans l'alcool à 80°.
- Différentiation : acide Cela peut inclure un traitement avec un acide ou un autre agent différenciant pour séparer les structures colorées.
- Rinçage (3 min) : Le tissu est rincé pour retirer les excès de réactifs.
- Hématoxyline (2 à 4 min) : L'échantillon est plongé dans une solution d'hématoxyline pour colorer les noyaux des cellules.
- Rinçage 1 : Un premier rinçage à l'eau est effectué pour éliminer l'excès d'hématoxyline.
- Rinçage 2 (eau chaude, 3 min) : Le tissu est rincé dans de l'eau chaude pour retirer les résidus d'hématoxyline.
- Rinçage 3 (eau froide, 2 min) : Un dernier rinçage est effectué dans de l'eau froide pour stabiliser les colorations.
- Eosine (1 à 2 min) : L'échantillon est trempé dans l'éosine pour colorer les cytoplasmes.
- Rinçage : Plusieurs rinçages dans un récipient sont réalisés pour éliminer l'excès d'éosine.
- Séchage des lames (60°C, 10 min) : Les lames sont séchées dans une étuve à 60°C pour fixer la coloration.
- Montage : Enfin, un montage est effectué avec une lamelle de verre pour préserver les échantillons et faciliter leur observation au microscope.



---

# Chapitre 03 : résultats et discussion

---



## I. Etude phytochimique

### I.1. Le rendement d'extraction de l'huile de jojoba

À partir de l'extraction des graines de jojoba, le rendement de l'extraction correspond au poids de l'extrait obtenu à partir de 200 g de graines.

Le résultat du calcul est le suivant :

$$R (\%) = \text{Masse (HE)} / \text{Masse (MVS)} \times 100 = 70/200 \times 100 = 35 \%$$

R (%) : Rendement en huile essentielle.

Masse (HE) : masse de l'huile essentielle.

Masse (MVF) : masse du matériel végétal sec.

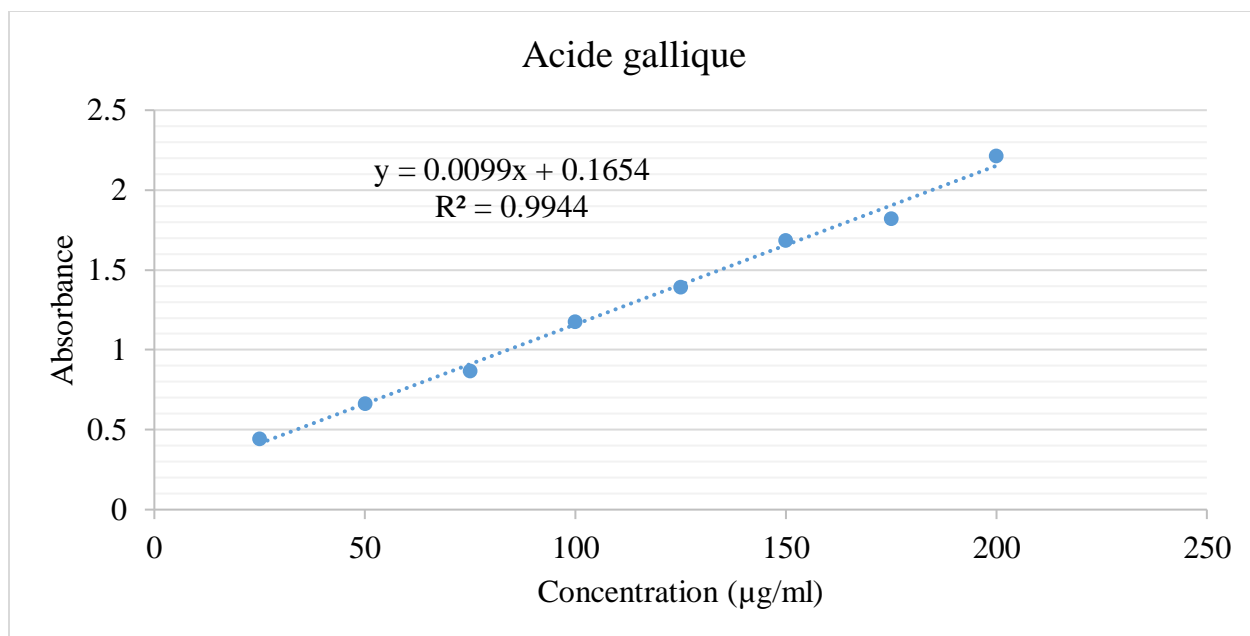
Dans ce cas, le rendement s'élève à 35 %. Cette huile ne représente pas la quantité totale des graines isolées (ces graines contiennent aussi des impuretés comme les tourteaux).

### I.2. Détermination du contenu en total de polyphénols et flavonoïdes

L'évaluation du contenu en composés phénoliques et flavonoïdes de l'HJ et l'ETJ a été effectuée selon la procédure suivante :

- La teneur en polyphénols totaux a été estimée, pour l'HJ et l'ETJ, par la méthode FCR, à partir d'une gamme étalon établie avec différentes concentrations d'acide gallique. L'équation de la courbe standard a ensuite été déterminée:  $Y = 0,0099x + 0,1654$  ;  $R^2 = 0,9944$ .

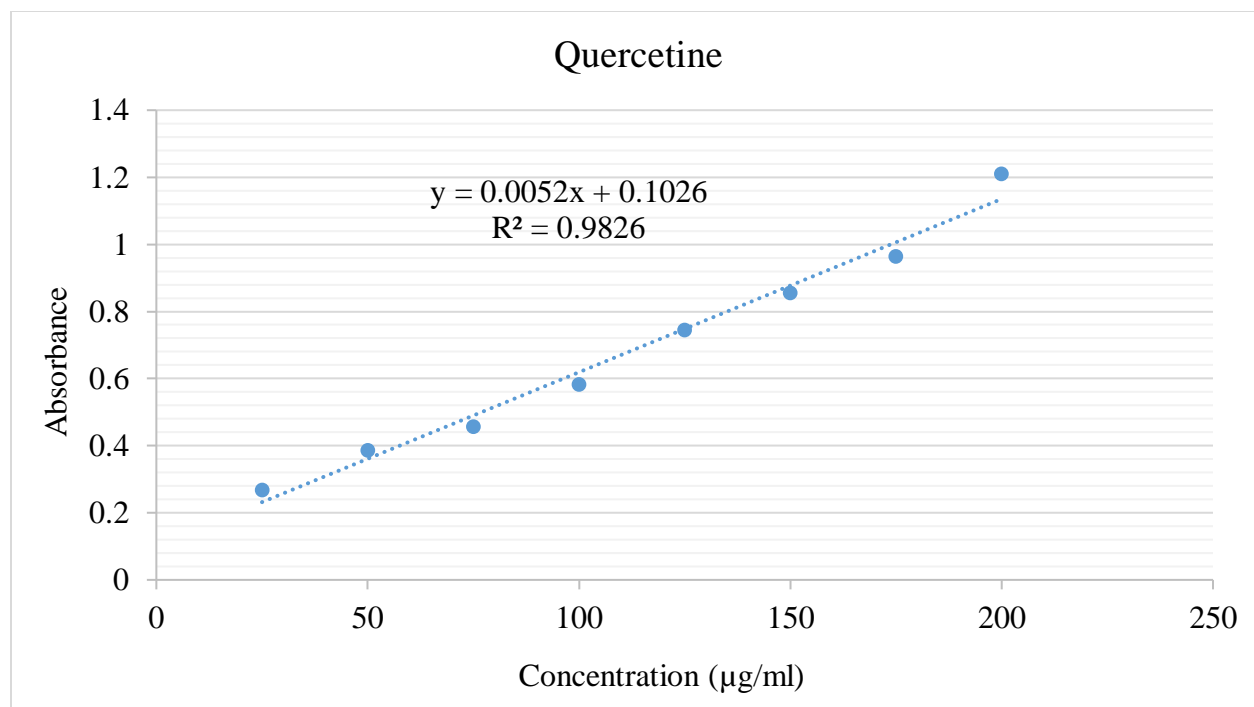
L'absorbance a été mesurée à une longueur d'onde de 765 nm. Les résultats obtenus sont illustrés dans une courbe d'étalonnage (Figure 41).



**Figure 41:** la courbe d'étalonnage d'acide gallique.

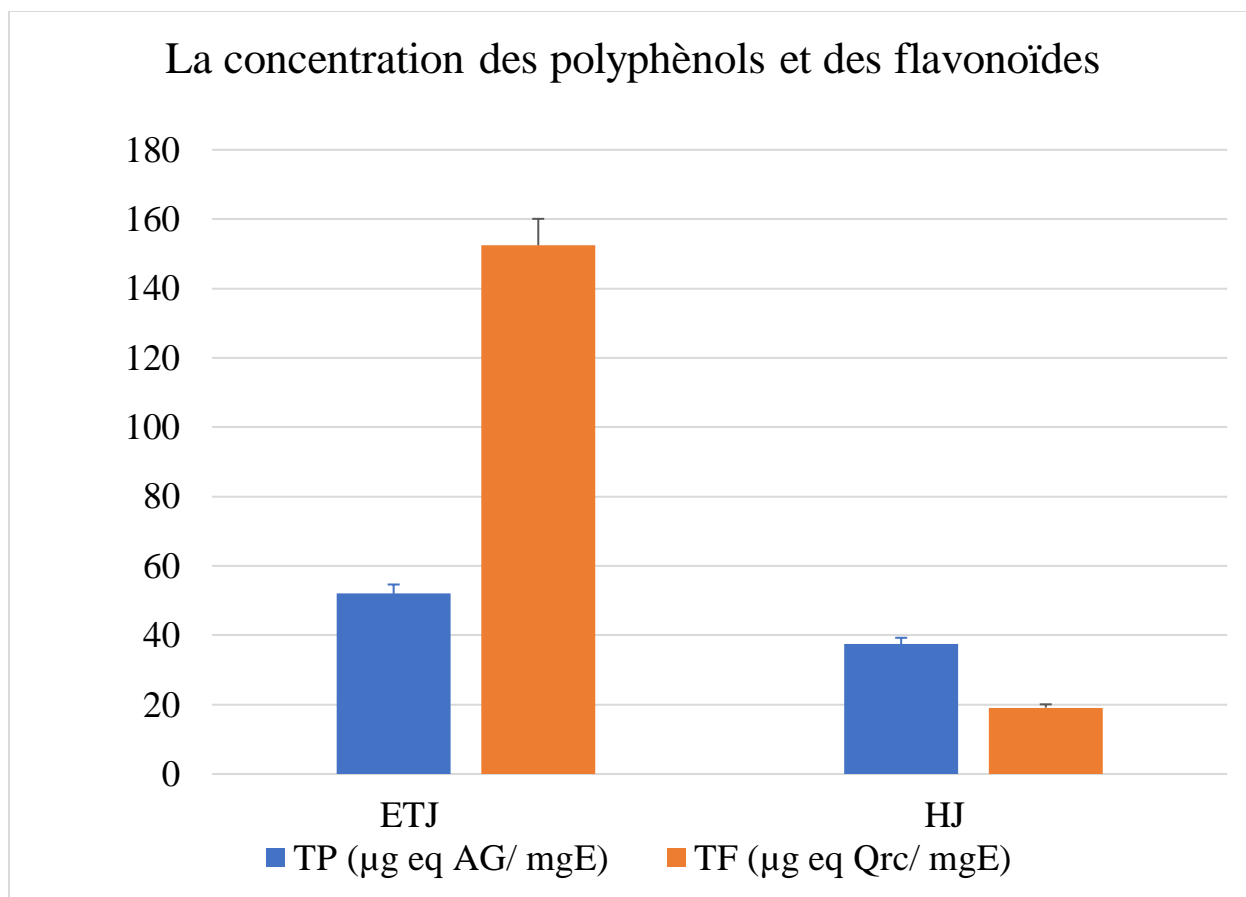
La teneur en polyphénols a été exprimée en microgrammes d'équivalent d'acide gallique par milligramme du poids d'extrait ( $\mu\text{g EAG} / \text{mg d'extrait}$ ).

- La teneur en flavonoïdes totaux estimée par la méthode de nitrate d'aluminium  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$  pour chaque extrait, à partir d'une gamme étalon établie avec différentes concentrations de la quercétine. L'équation standard de courbe :  $y = 0,0052x + 0,1026$  ;  $R^2 = 0,9826$ ). L'absorbance a été mesurée à une longueur d'onde de 415 nm. Les résultats obtenus sont illustrés dans une courbe d'étalonnage (figure 42).



**Figure 42:** la courbe d'étalonnage de la quercétine.

La concentration des flavonoïdes a été exprimée en microgrammes d'équivalent quercétine par milligramme de poids d'extrait ( $\mu\text{g EQ} / \text{mg d'extrait}$ ) (figure 43).



**Figure 43 :** la concentration des polyphénols et des flavonoïdes d'ETJ et de l'HJ de *S. chinensis*.

Qrc : quercétine

eq : équivalents

AG : acide gallique.

mgE : milligrammes d'extrait

Selon les résultats présentés dans la figure 43, nous avons observé que l'ETJ, préparé par une extraction utilisant un mélange méthanol/eau, présente une teneur élevée en flavonoïdes ( $152,47 \pm 0,47 \mu\text{g eq Qrc /mgE}$ ), suivie par l'HJ, obtenue par extraction à froid ( $19,14 \pm 0,85 \mu\text{g eq Qrc /mgE}$ ).

En ce qui concerne la teneur totale en polyphénols (figure 43), l'ETJ affiche également une concentration plus élevée ( $52,05 \pm 0,70 \mu\text{g eq AG/mg d'extrait}$ ) par rapport à l'HJ ( $37,42 \pm 0,23 \mu\text{g eq AG/mg d'extrait}$ ).

Cette différence peut être attribuée aux méthodes d'extraction ainsi qu'à la nature des solvants utilisés, les composés phénoliques étant majoritairement hydrophiles et donc mieux extraits par des solvants polaires.

Le contenu phénolique des sous-produits des graines de *S.chinensis* dépend fortement des conditions d'extraction, notamment de la polarité des solvants employés pour obtenir l'ETJ et l'HJ.

Selon (Dai *et al.* 2010), le méthanol est utilisé pour l'extraction des polyphénols, permettant l'isolement efficace des composés phénoliques libres, grâce à sa polarité qui favorise la solubilisation de ces molécules.

En effet, comme est montrée dans l'histogramme, le méthanol est le solvant le plus performant pour extraire les polyphénols et flavonoïdes d'ETJ. D'autre part, les solutions apolaires comme les huiles contiennent une quantité limitée de composés phénoliques, car ces derniers sont des substances lipophiles. En revanche, les solvants polaires tels que le méthanol, utilisés pour l'extraction des tourteaux, sont plus efficaces pour extraire les composés phénoliques, car ces derniers sont des substances hydrophiles (Gil-Martín *et al.* 2022).

Il est bien établi que l'ETJ comporte diverses catégories des polyphénols et des flavonoïdes connus pour leur capacité antioxydantes (Belhadj *et al.* 2018).

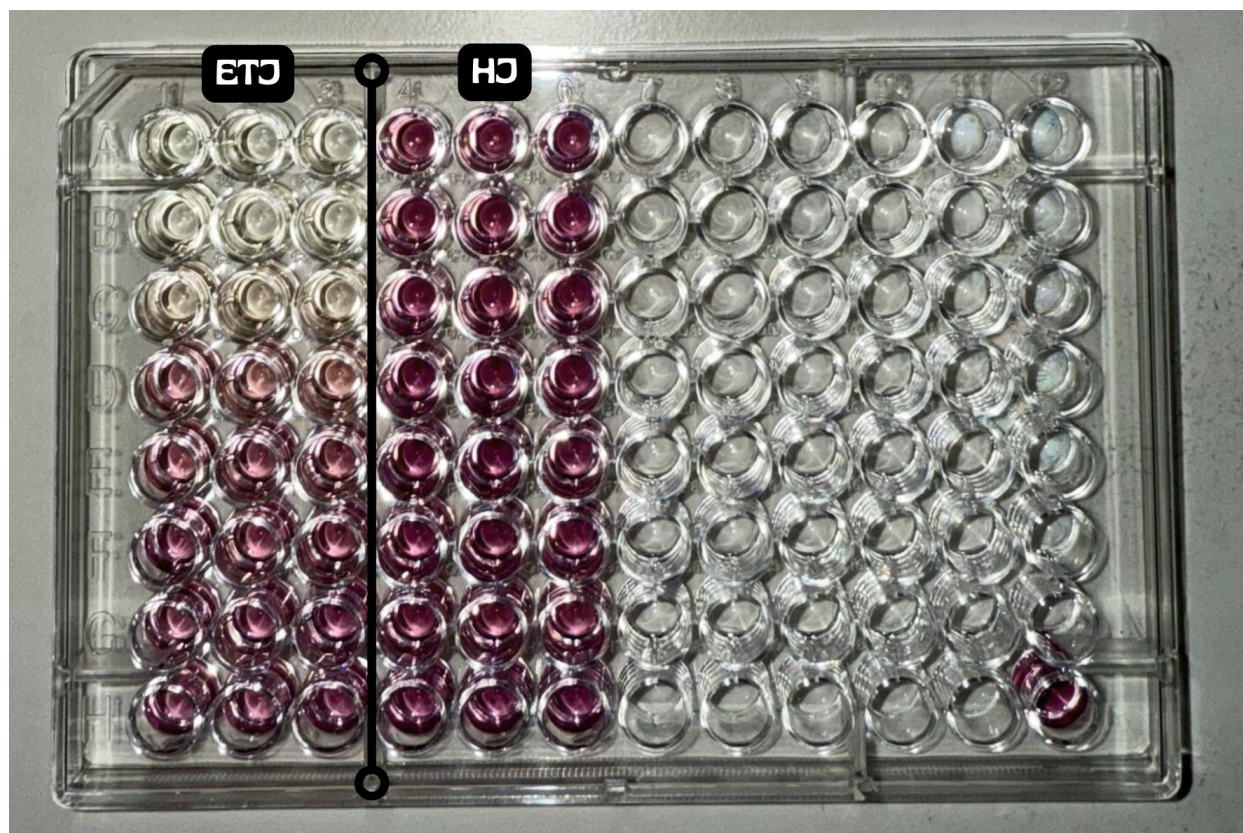
Par ailleurs, la concentration en composés phénoliques peut varier en fonction de plusieurs facteurs, notamment les conditions climatiques et environnementales, le stade de maturité de la plante, la durée de conservation, ainsi que les méthodes d'extraction et de dosage utilisées (Bentahar *et al.* 2020).

### **I.3. Activité antioxydantes et antisolaire**

#### **I.3.1. Activité antioxydantes**

##### **I.3.1.1 Activité antiradicalaire au DPPH**

Dans cette étude, l'activité antiradicalaire de deux sous-produits issus des graines de *S. chinensis* a été évaluée en déterminant leurs concentrations inhibitrices à 50 % (CI<sub>50</sub>). Cette évaluation repose sur la capacité des substances à réduire le radical libre DPPH (Hebi *et al.* 2016), en comparaison avec des antioxydants de référence tels que le BHT et le Trolox. Les résultats obtenus sont présentés dans les figures 44 et 45 ainsi que dans le tableau 8.



**Figure 44:** la plaque de l'activité anti radicalaire (DPPH) d'ETJ et l'HJ de *S.chinensis*.

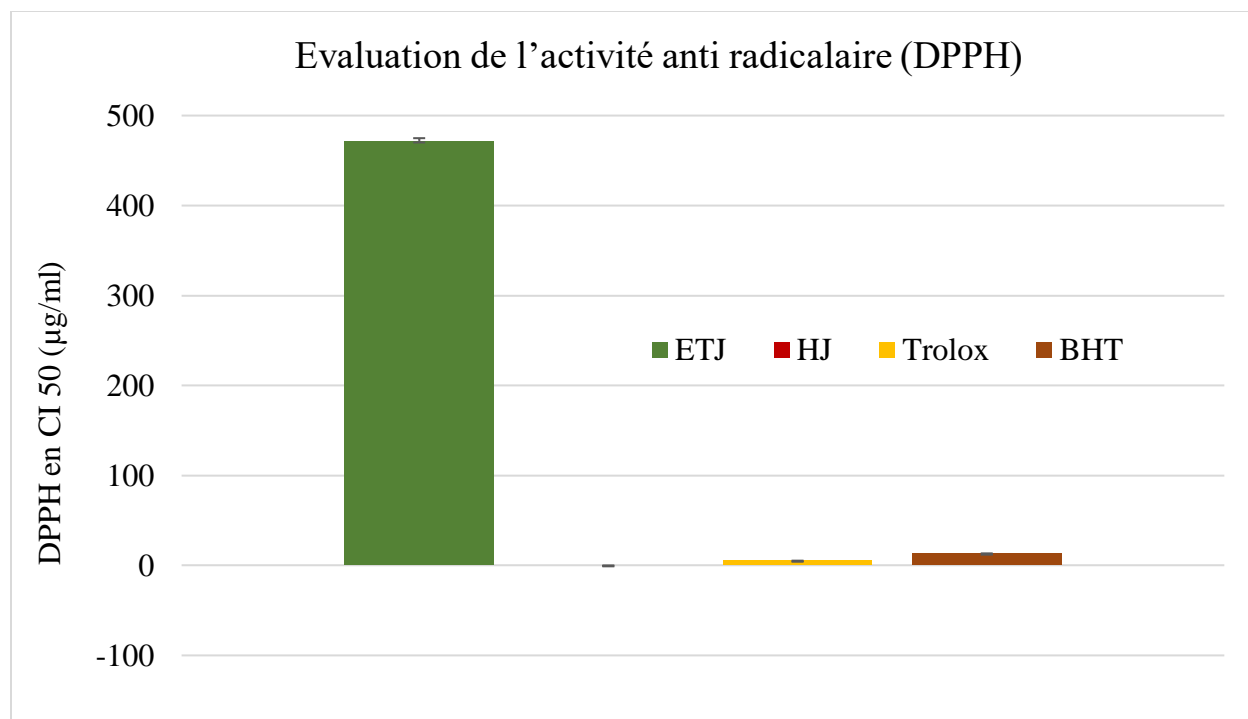
**Tableau 8 :** inhibition du radical DPPH par l'ETJ et l'HJ de *S.chinensis*.

|         | DPPH en CI 50 ( $\mu\text{g/ml}$ ) |
|---------|------------------------------------|
| ETJ     | $471,08 \pm 3,79$                  |
| HJ      | PA                                 |
| BHT *   | $12,99 \pm 0,41$                   |
| Trolox* | $5,12 \pm 0,2$                     |

**CI50 :** concentration d'inhibition à 50%.

**PA :** pas d'activité.

**\*,** produit de référence.



**Figure 45:** évaluation de l'activité anti-radicalaire (DPPH) d'ETJ et l'HJ

Les antioxydants réagissent avec ce radical libre en lui cédant un atome d'hydrogène, entraînant ainsi sa réduction et sa décoloration. Le DPPH, initialement violet, est transformé en un composé jaune, le diphényle-picrylhydrazine. L'intensité de cette décoloration dépend directement de la capacité des antioxydants à donner des hydrogènes (**Ardestani *et al.* 2007**). Les composés tels que les polyphénols et les flavonoïdes sont capables de réduire et décolorent le radical DPPH grâce à leur pouvoir réducteur (**Bougandoura *et al.* 2013**).

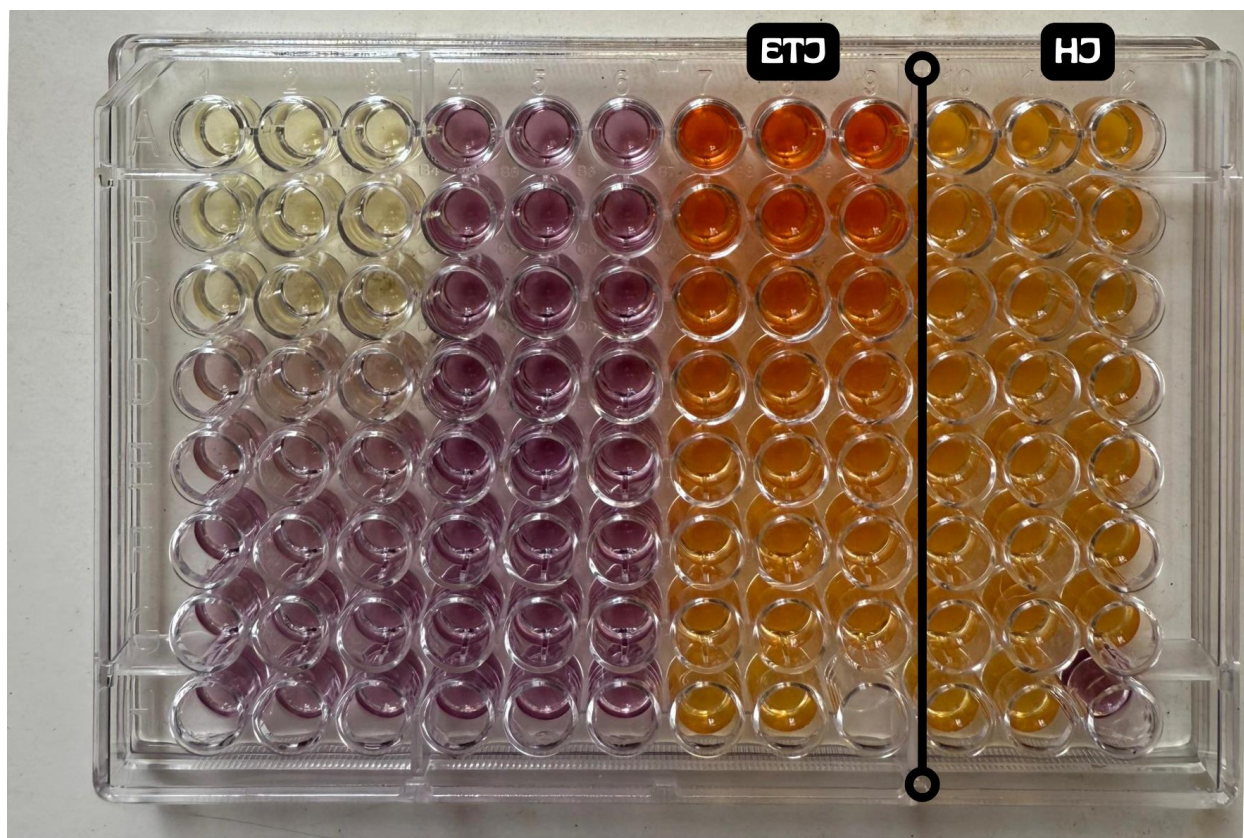
Selon nos résultats, l'ETJ a montré une décoloration du DPPH en jaune pâle, avec une  $CI_{50}$  ( $471,08 \pm 3,79 \mu\text{g/ml}$ ), alors que l'HJ n'a présenté ni une activité antiradicalaire ni une décoloration détectable. En faisant une comparaison des résultats des deux échantillons, on peut affirmer que l'ETJ a révélé la meilleure activité antiradicalaire par rapport à celle de l'HJ. Bien que cette activité réductrice reste inférieure à celle des standards (BHT et Trolox), mais elle reste non négligeable.

Ces observations sont cohérentes avec l'étude de **Siahaan *et al.* (2020)**, qui a mis en évidence la richesse des résidus de graines de jojoba en composés antioxydants. Dans leur travail, les extraits obtenus avec 70 % d'éthanol ont présenté une activité antioxydante avec une  $IC_{50}$  de  $219,42 \mu\text{g/ml}$ , indiquant une activité modérée à élever. En comparaison, notre extrait a montré une  $IC_{50}$  de  $471,08$

$\pm 3,79 \mu\text{g/ml}$  (soit  $471,08 \text{ mg/L}$ ), traduisant une activité antiradicalaire plus faible, mais toujours significative. Ces résultats confirment le potentiel de l'ETJ comme source de composés bioactifs, bien que des différences méthodologiques ou d'origine végétale puissent influencer l'intensité de l'activité observée.

### I.3.1.2. Activité de réduction par la formation du complexe $\text{Fe}^{2+}$ -phénantroline

Le test à la phénanthroline est une méthode relativement récente utilisée pour évaluer l'activité antioxydante. Il repose sur la réduction des ions  $\text{Fe}^{3+}$  en  $\text{Fe}^{2+}$  par les antioxydants présents dans l'échantillon, suivie de la formation d'un complexe  $\text{Fe}^{2+}$ -phénanthroline de couleur rouge-orangé (Szydłowska-Czerniak *et al.* 2008; Yefrida *et al.* 2018). Dans cette étude, la capacité réductrice d'ETJ et de l'HJ issus de *S.chinensis* a été déterminée à travers la mesure des valeurs d'absorbance à 0,50 ( $A_{0,50}$ ), et comparée à celle du standard antioxydant Trolox. Les résultats sont présentés dans les figures 46 et 47, ainsi que dans le tableau 9.



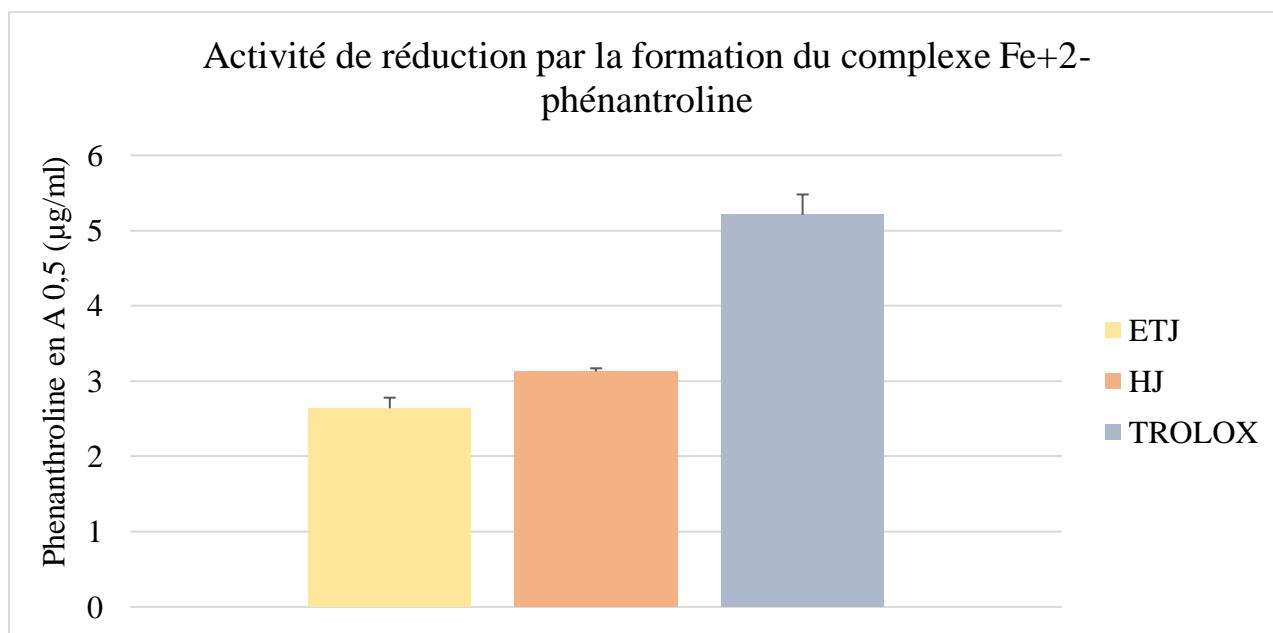
**Figure 46 :** la plaque de réduction par la formation du complexe Fe<sup>2+</sup>- phénantroline par l'ETJ et l'HJ de *S.chinensis*.

**Tableau 9 :** absorbance du complexe Fe<sup>2+</sup>- phénantroline d'ETJ et de l'HJ de *S.chinensis*

|         | Phenanthroline en A 0,5 (µg/ml) |
|---------|---------------------------------|
| ETJ     | 2,64±0,14                       |
| HJ      | 3,13±0,04                       |
| Trolox* | 5,21 ± 0,27                     |

A 0,5 : concentration donnant une absorbance 0,5.

\*: produit de référence.



**Figure 47 :** l'activité de réduction par la formation du complexe Fe<sup>2+</sup>- phénantroline d'ETJ et de l'HJ

Les résultats obtenus montrent que les deux sous-produits sont capables de réduire le fer, entraînant la formation du complexe Fe<sup>2+</sup>-phénanthroline. D'après le tableau 9 et la Figure 47, l'ETJ présente le pouvoir réducteur le plus élevé ( $A_{0,50} = 2,64 \pm 0,14 \mu\text{g/ml}$ ), suivi de l'HJ ( $A_{0,50} = 3,13 \pm 0,04 \mu\text{g/ml}$ ). Le standard Trolox, quant à lui, affiche l'activité réductrice la plus faible ( $A_{0,50} = 5,21 \pm 0,27 \mu\text{g/ml}$ ). Ces résultats suggèrent que les extraits de jojoba, en particulier le tourteau, possèdent un pouvoir réducteur supérieur à celui du Trolox.

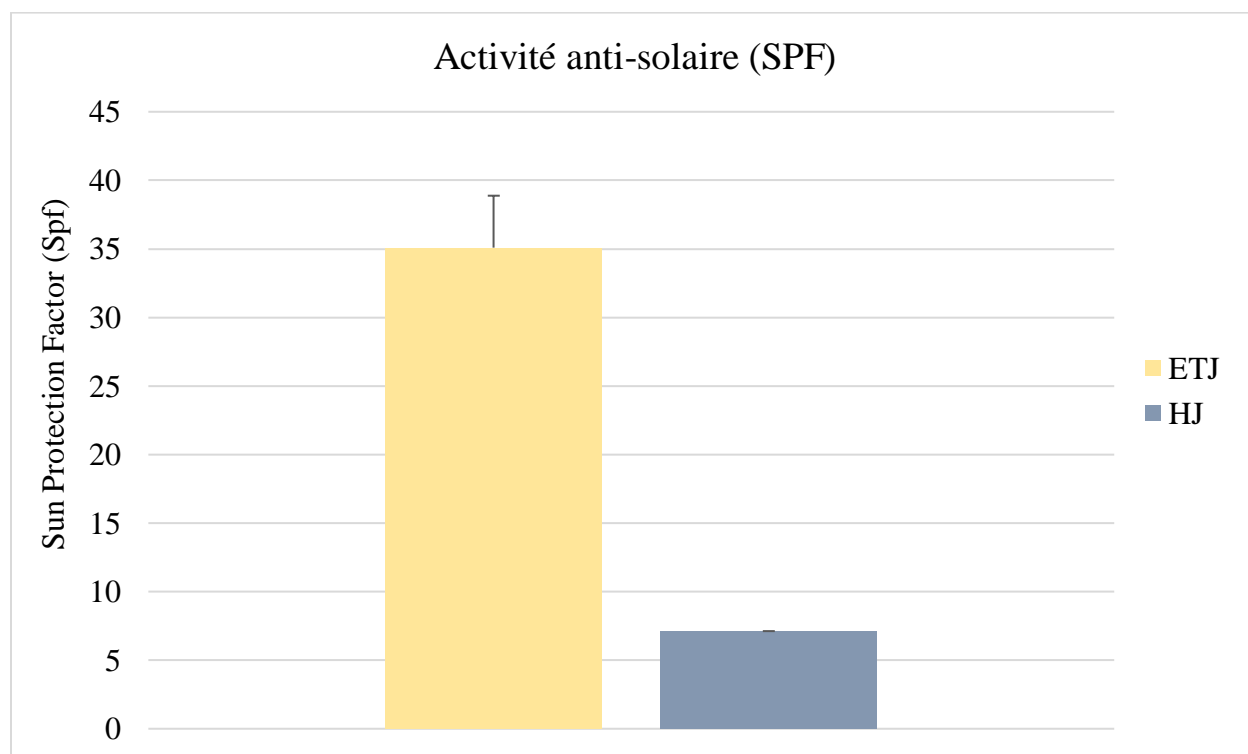
Les deux sous-produits de *S. chinensis* présentent une activité antioxydante, probablement attribuable à leur richesse en composés phénoliques, phytostérols, tocophérols et acides gras, des phyto-composés reconnus pour leurs propriétés antioxydantes (**Al-qizwini et al. 2014**).

Les résultats obtenus dans cette étude, confirmés par ceux d'autres chercheurs tels que **Pulido et al. (2000)**, la variation du pouvoir réducteur vis-à-vis du complexe  $\text{Fe}^{2+}$ -phénanthroline traduit la capacité des polyphénols à agir en tant qu'agents antioxydants. Cette activité est étroitement corrélée au degré d'hydroxylation ainsi qu'à la conjugaison des structures phénoliques.

L'évaluation de l'activité réductrice par la formation du complexe  $\text{Fe}^{2+}$ -phénanthroline est rarement appliquée aux extraits de tourteau l'ETJ et l'HJ, ce qui confère à notre étude un caractère original.

### I.3.2 Activité antisolare

Dans cette étude, l'évaluation du facteur de protection solaire (SPF) d'ETJ et de l'HJ a été réalisée en suivant la méthode de **Mansur et al. (1986)**, Cette méthode repose sur la capacité d'ETJ et de l'HJ à absorber les rayons UV et à offrir une meilleure protection contre leurs effets nocifs. Les résultats sont présentés dans la figure 48 et tableau 10.



**Figure 48:** l'activité antisolare (SPF) d'ETJ et de l'HJ**Tableau 10:** résultats de l'activité antisolare (SPF) d'ETJ et HJ.

|     | SPF        |
|-----|------------|
| ETJ | 35,09±0,11 |
| HJ  | 7,12±0,67  |

Nos résultats illustrés dans le tableau 10, montrent une variabilité différente entre l'ETJ et l'HJ. La valeur SPF d'ETJ est la plus importante (35,09±0,11). Cette valeur indique une haute protection d'ETJ par rapport à l'HJ (7,12±0,67).

Cette divergence peut être attribuée à la composition biochimique très contrastée entre les deux sous-produits des graines de Jojoba. L'ETJ, riche en composés phénoliques, flavonoïdes et autres métabolites secondaires solubles dans les solvants polaires, démontre une capacité accrue d'absorption des rayons UVB, ce qui est cohérent avec les travaux de **Hashemi et al. (2019)**, qui ont mis en évidence une corrélation significative entre le contenu en polyphénols et flavonoïdes et l'indice SPF. De plus, l'extraction assistée par ultrasons a été reconnue comme une technique efficace pour améliorer le rendement en composés photoprotecteurs, augmentant ainsi le potentiel de filtration UV de certains extraits végétaux (**Hashemi et al. 2019**).

À l'inverse, l'huile de jojoba (HJ) présente dans notre étude une valeur de SPF de 7,12, proche de celle rapportée par **Suryawanshi (2016)**, qui était de 6,022. Se caractérise par une faible activité photoprotectrice, probablement en raison de sa teneur majoritaire en esters cireux et en acides gras insaturés, qui n'ont qu'une absorption très limitée dans la gamme des UVB (**Mansur et al. 1986**). Bien que cette HJ soit largement utilisée pour ses propriétés hydratantes et émollientes, son faible SPF limite son efficacité comme filtre solaire principal.

D'autre part, bien que l'activité antioxydante soit reconnue comme bénéfique pour la peau, l'étude de **Ebrahimzadeh et al. (2014)** a montré qu'il n'existe pas nécessairement de corrélation directe entre cette activité et l'indice de protection solaire (SPF). Cela suggère que d'autres paramètres, notamment la nature chimique et la structure des composés phénoliques, peuvent jouer un rôle déterminant dans la capacité photoprotectrice. Dans ce contexte, les polyphénols suscitent un intérêt croissant en raison de leur aptitude à neutraliser efficacement les radicaux libres et à

moduler diverses voies cellulaires impliquées dans la défense contre les effets nocifs des rayons UV (Pérez-Sánchez *et al.* 2016).

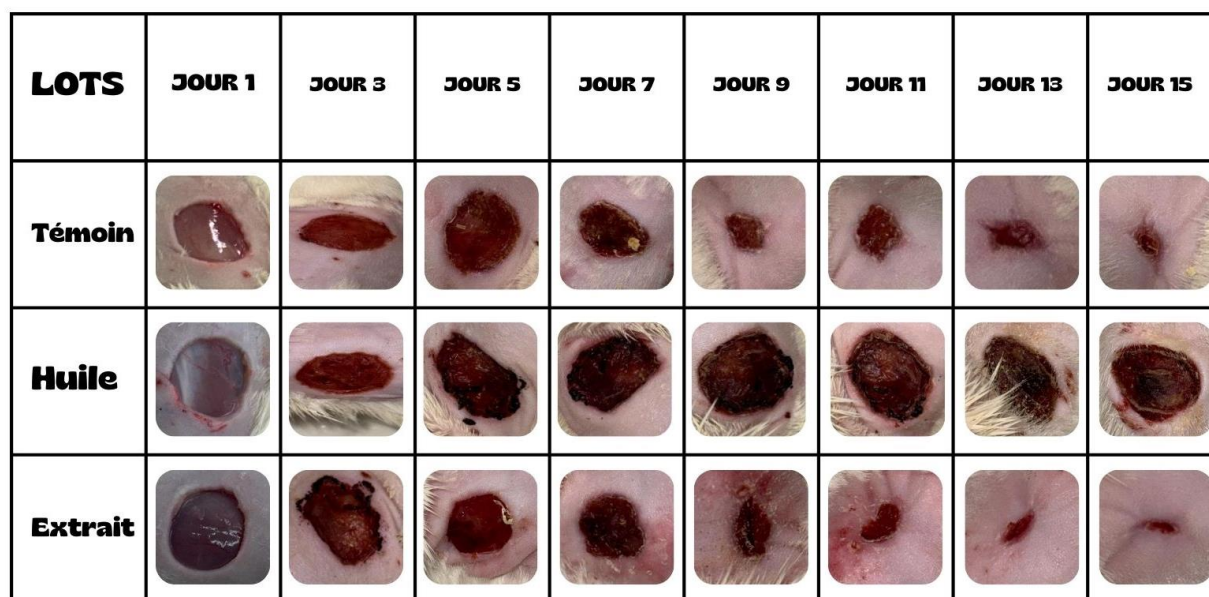
Pour qu'un produit solaire soit réellement efficace, il doit absorber largement entre 290 et 400 nm (Lopes *et al.* 2022). Un SPF de 35, tel que celui mesuré pour ETJ, permet de bloquer environ 97 % des rayons UVB, assurant ainsi une excellente protection contre les coups de soleil, le vieillissement cutané prématuré et certains cancers (Wilson *et al.* 2012). Enfin, les tests *in vitro* demeurent une approche précieuse pour identifier et sélectionner des composés naturels à potentiel photoprotecteur avant la validation *in vivo* (Santos *et al.* 1999).

## II. Activité cicatrisante

### II.1. Effet cicatrisant

L'objectif de notre étude était d'évaluer l'effet cicatrisant de HJ et d'ETJ sur neuf rats blancs femelles de souche Wistar. Le suivi de l'évolution de la cicatrisation a été assuré par des prises de photos et par la mesure du poids corporel un jour sur deux.

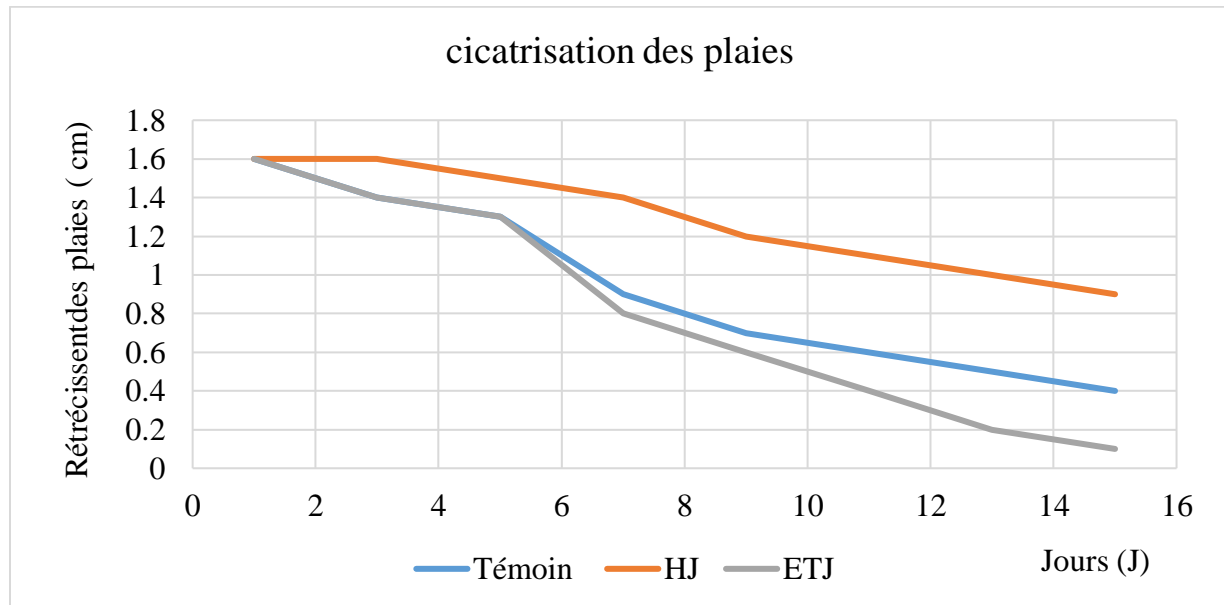
Les résultats obtenus sont illustrés respectivement dans les figures 49 et 50, tableau 11.



**Figure 49** : l'évolution de la cicatrisation des plaies traitées par HJ et ETJ, et témoin pendant 15 jours.

La figure 49 illustre l'évolution représentative de la cicatrisation des plaies dans les trois lots étudiés, de J1 à J15.

Dans le lot traité par HJ, les plaies ont montré une cicatrisation retardée par rapport à celles du lot témoin et du lot traité par l'ETJ de jojoba, qui ont guéri plus rapidement.



**Figure 50 :** évolution de la cicatrisation en fonction de la fermeture des plaies traitées par HJ et ETJ.

D'après nos résultats illustrés dans la figure 50, la surface des plaies traitées par HJ n'a montré aucune réduction significative à J3 (0 %), contrairement au groupe d'ETJ, qui présente un taux de rétrécissement de 18,75 %. À J7, la cicatrisation est plus avancée dans le groupe ETJ, avec un taux de fermeture atteignant 50 %, soit le plus élevé parmi les trois lots.

Au neuvième jour, les plaies traitées par HJ présentent un taux de rétrécissement de 25 %, inférieur à celui observé pour ETJ (62,5 %), ce qui contraste avec les données rapportées par **Begum et al. (2024)**.

Après 13 jours de traitement, les plaies soignées par ETJ sont presque totalement refermées, avec un taux de cicatrisation de 87,75 %, contre 68,75 % pour le lot témoin. Enfin, à J15, le groupe ETJ

atteint un taux de fermeture de 93,75 %, traduisant une cicatrisation quasi complète, tandis que les groupes témoin et HJ affichent respectivement 75 % et 43,75 %.

Nos résultats sont en contradiction avec ceux de **Begum *et al.* (2024)**, bien que certaines études attribuent à l'HJ un potentiel cicatrisant significatif, l'absence de cicatrisation observée dans notre étude pourrait s'expliquer par sa concentration trop élevée, susceptible d'entraîner une accumulation de molécules potentiellement toxiques. En effet, l'application de HJ à l'état pur, peut saturer la surface cutanée et limiter la pénétration des composés bioactifs. De plus, l'absence d'une formulation galénique appropriée, telle qu'une émulsion stabilisée, pourrait nuire à la biodisponibilité cutanée de ces substances et réduire ainsi leur efficacité thérapeutique (**Tietel *et al.* 2024**).

L'étude du suivi de la cicatrisation par ETJ est une approche innovante, car ce traitement n'a pas été étudié auparavant. Son extraordinaire effet peut être expliqué selon le raisonnement qui suit.

À partir de l'étude de (**Mohamed 2007; Alphonse Doutriaux 2021**), on peut expliquer l'effet cicatrisant de l'ETJ par sa richesse en protéines, représentant environ 22,9% de sa composition, avec une proportion significative d'acides aminés essentiels. Parmi ceux-ci, l'arginine, proline. Ces acides aminés jouent un rôle crucial dans la synthèse du collagène et la régénération des tissus, deux processus fondamentaux pour la cicatrisation cutanée.

En plus de sa richesse en protéines, ETJ contiennent également une quantité intéressante de minéraux bénéfiques pour la cicatrisation et la régénération des tissus, notamment le cuivre, le fer, le sélénium et le zinc. Ces oligo-éléments interviennent dans divers mécanismes biologiques essentiels à la réparation cutanée (**David valancogne 2023**).

Notamment, cette efficacité pourrait être attribuée à la présence de composés phénoliques, tels que les flavonoïdes et les tanins la quercétine, qui favorisent la régénération des tissus en stimulant la production de collagène et de fibronectine (**Khaire *et al.* 2023; Zulkefli *et al.* 2023; Cedillo-Cortezano *et al.* 2024**).

**Tableau11** : analyse ANOVA des effets de l'ETJ et de la HJ sur la fermeture des plaies

| Lots expérimentaux | Cicatrisation des plaies (cm) |
|--------------------|-------------------------------|
| Témoin             | 0,92 ± 0,42 <sup>a</sup>      |

|     |                   |
|-----|-------------------|
| ETJ | $0,80 \pm 0,53^a$ |
| HJ  | $1,28 \pm 0,25^b$ |

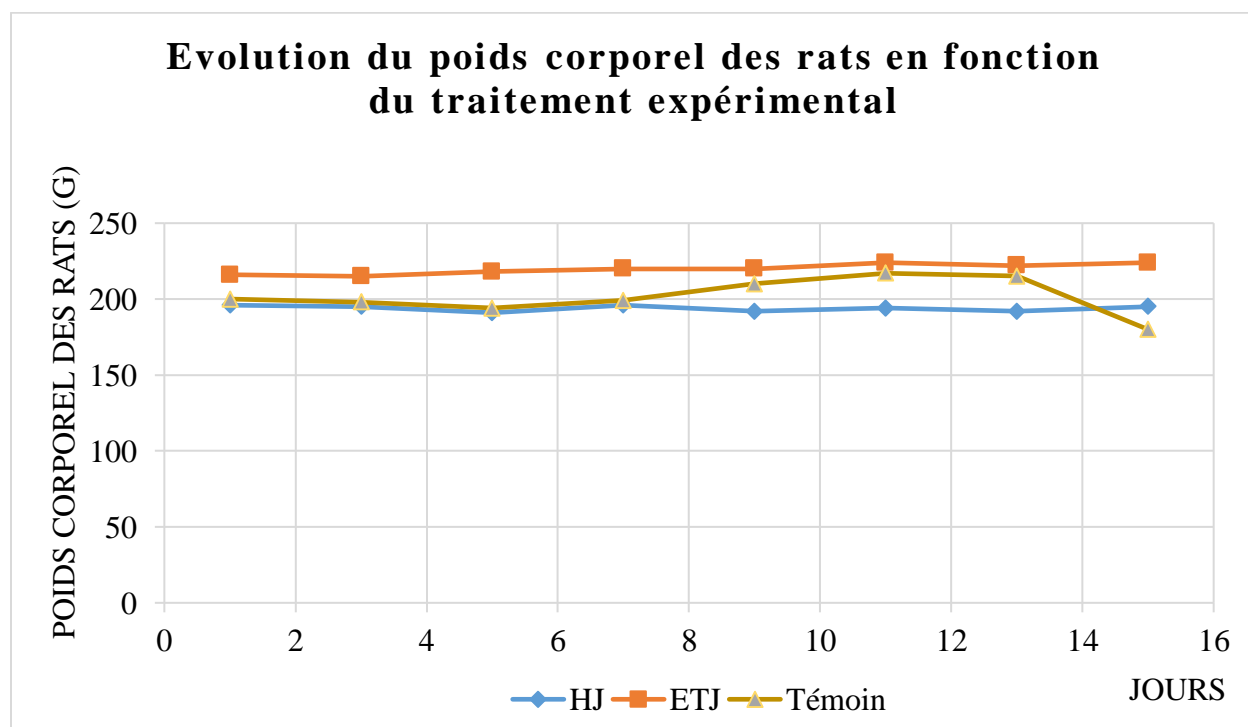
Les résultats du tableau 11 montrent une différence significative entre les trois lots. L'ETJ affiche la meilleure efficacité, avec la moyenne la plus faible ( $0,80 \pm 0,53$ ), indiquant une cicatrisation avancée. Le lot témoin présente une cicatrisation intermédiaire ( $0,92 \pm 0,42$ ), tandis que l'huile de jojoba (HJ) montre la moins bonne évolution ( $1,28 \pm 0,25$ ).

La notation <sup>a</sup> associée aux valeurs du témoin et d'ETJ indique qu'il n'existe pas de différence statistiquement significative entre eux, alors que la notation <sup>b</sup> pour HJ souligne une distinction marquée avec les deux autres lots.

En conclusion, Ces résultats confirment le potentiel supérieur de l'ETJ qui accélère la cicatrisation des plaies chez les rats par rapport à la HJ.

## II.2. Evolution du poids

Par ailleurs, le poids corporel des rats a été mesuré un jour sur deux afin d'identifier d'éventuelles variations liées au processus de guérison (figure 51).



**Figure 51 :** évolution du poids corporel des rats en fonction du traitement expérimental (témoin , ETJ , HJ).

D'après la figure 51, l'histogramme présente l'évolution du poids corporel des rats en fonction du traitement expérimental sur une période de 15 jours.

Le poids moyen des rats du lot traité par HJ est resté quasiment stable, passant de 196 g au J0 à 195 g au J15. En revanche, les rats du lot traité par ETJ ont présenté une légère prise de poids, passant de 216 g à J0 à 224 g à J15. À l'inverse, une perte de poids a été observée chez les rats du lot témoin, dont le poids moyen est passé de 200 g à J0 à 180 g à J15.

Dans le cadre de l'étude du suivi du poids corporel selon les traitements appliqués, nous avons analysé la différence entre les trois lots (témoin, HJ et ETJ) afin de déterminer s'il existe un effet significatif sur l'évolution du poids des rats. Pour ce faire, nous avons réalisé une analyse de test t des échantillons appariés. Les résultats obtenus sont illustrés dans le tableau 12.

**Tableau 12 :** analyse statistique de l'influence des ETJ et de l'HJ sur le poids

| Lots           | Poids (g)      | P value |
|----------------|----------------|---------|
| Témoin négatif | 201,62 ± 12,1  | 0,004   |
| HJ             | 193,875 ± 1,95 | 0,134   |
| ETJ            | 219,87 ± 3,39  | 0,000   |

Les résultats du test t pour des échantillons appariés révèlent des différences significatives :

En effet, une différence hautement significative a été observée entre les lots "ETJ" et "HJ" ( $p = 0,000$ ), ainsi qu'entre le lot témoin et "ETJ" ( $p = 0,004$ ), indiquant un effet marqué du traitement à base de tourteaux. En revanche, aucune différence statistiquement significative n'a été relevée entre le lot témoin et le traitement "HJ" ( $p = 0,134$ ), suggérant que ce dernier n'a pas induit de modification notable par rapport au lot témoin.

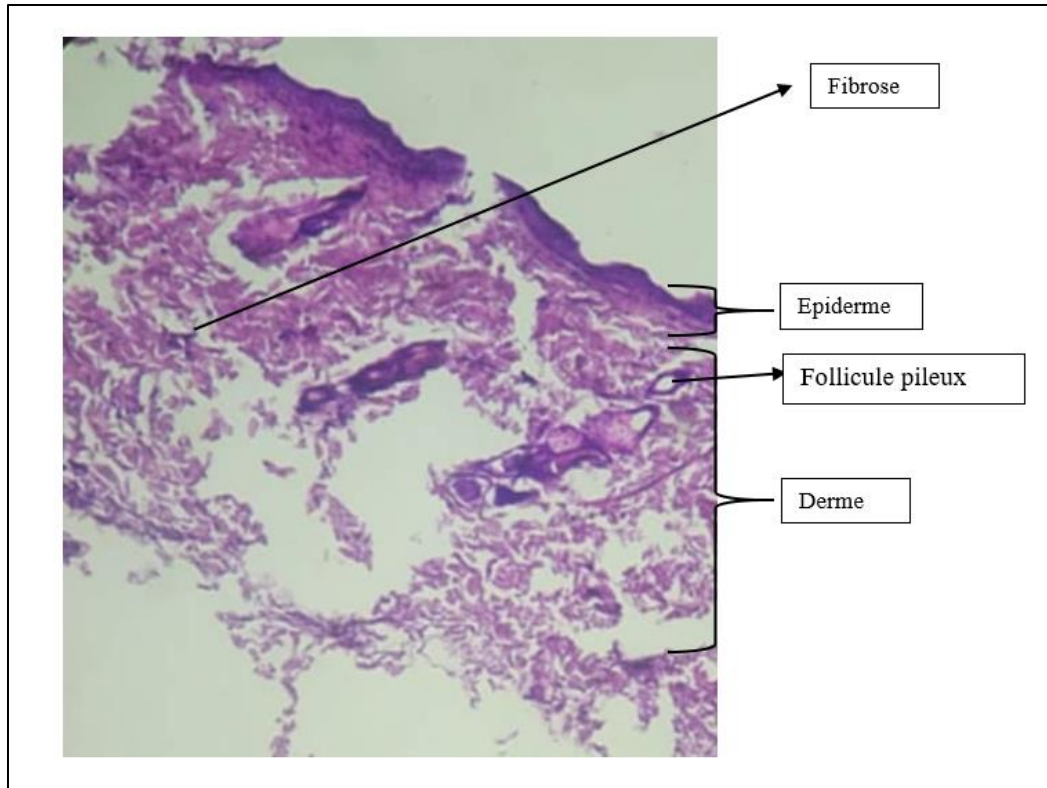
Il apparaît que l'extrait de tourteau de jojoba (ETJ) a un effet positif sur la prise de poids des rats, avec une moyenne pondérale de  $219,87 \pm 3,39$  g, et aucune mortalité observée dans ce lot. En

revanche, une perte de poids accompagnée de cas de mortalité a été enregistrée dans les groupes témoin et traité par l'huile de jojoba (HJ). Cette diminution pourrait être attribuée à un déficit énergétique causé par le traumatisme lié à la plaie, une baisse de la prise alimentaire, ainsi que des facteurs physiopathologiques impliqués dans le processus de cicatrisation (**Al Shamma *et al.* 1979**).

En effet, comme pour tous les phénomènes physiologiques, les micronutriments jouent un rôle crucial dans le processus de cicatrisation des plaies, tels que les acides aminés, les lipides, les protéines, les glucides, le fer, le zinc ainsi que les vitamines A et C (**Barnett *et al.* 2021**). Étant donné que HJ ne contient pas ces éléments essentiels, contrairement aux ETJ, qui sont riches en micronutriments, il est possible que cette diminution de poids soit directement attribuée à leur absence.

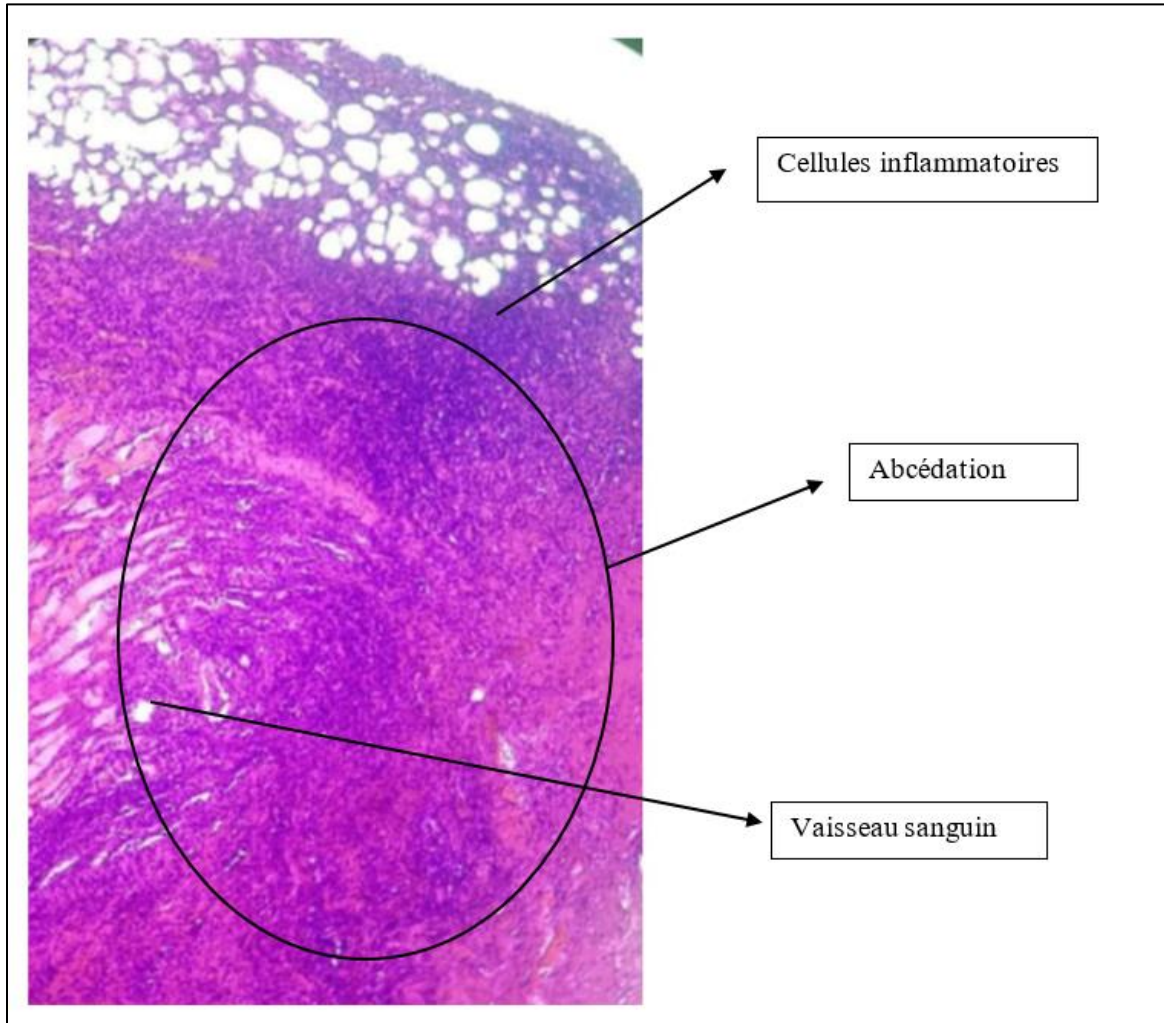
### **III. Etude histologique**

Afin de confirmer les observations issues de l'évaluation macroscopique, une étude histologique a été menée sur les tissus des rats. Cette analyse a permis d'approfondir l'évaluation de l'effet de l'HJ et d'ETJ sur le processus de cicatrisation. Les figures 52, 53 et 54 présentent des coupes histologiques colorées à l'hématoxyline-éosine (H&E), observées au microscope. Les résultats correspondants sont illustrés dans les figures.



**Figure 52:** Observation au microscope optique des coupes histologiques de la peau des rats Wistar du témoin négatif (G  $\times 40$ ).

A partir des données histologiques obtenues de lot témoin, on observe une fibrose cicatricielle accompagnée d'une rareté des cellules inflammatoires, ce qui indique que la lésion est entrée dans une phase avancée du processus de cicatrisation, passant par les étapes physiologiques connues : hémostase, inflammation modérée, prolifération cellulaire, puis remodelage. Les cellules inflammatoires, telles que les neutrophiles et les macrophages, ont largement disparu, ce qui suggère que la phase inflammatoire est pratiquement résolue. La fibrose correspond à une accumulation progressive de matrice extracellulaire, principalement constituée de collagène synthétisé par les fibroblastes activés, et forme un tissu cicatriciel en cours de maturation vers une structure plus dense et organisée.



**Figure 53:** Observation au microscope optique des coupes histologiques de la peau des rats Wistar du l'HJ (G  $\times$ 40).

A partir des données histologiques obtenues de lot HJ, on observe :

Un tissu fibro-adipomusculaire signifie qu'il est composé à la fois de fibres musculaires, de tissu adipeux (gras) et de tissu conjonctif fibreux. Ce type de structure est typique des zones profondes de l'organisme, comme le tissu sous-cutané ou intermusculaire.

La présence d'un granulome inflammatoire important, constitué de cellules inflammatoires polymorphes (c'est-à-dire un mélange de lymphocytes, macrophages...), traduit une réaction immunitaire persistante. Les granulomes se forment souvent en réponse à une inflammation

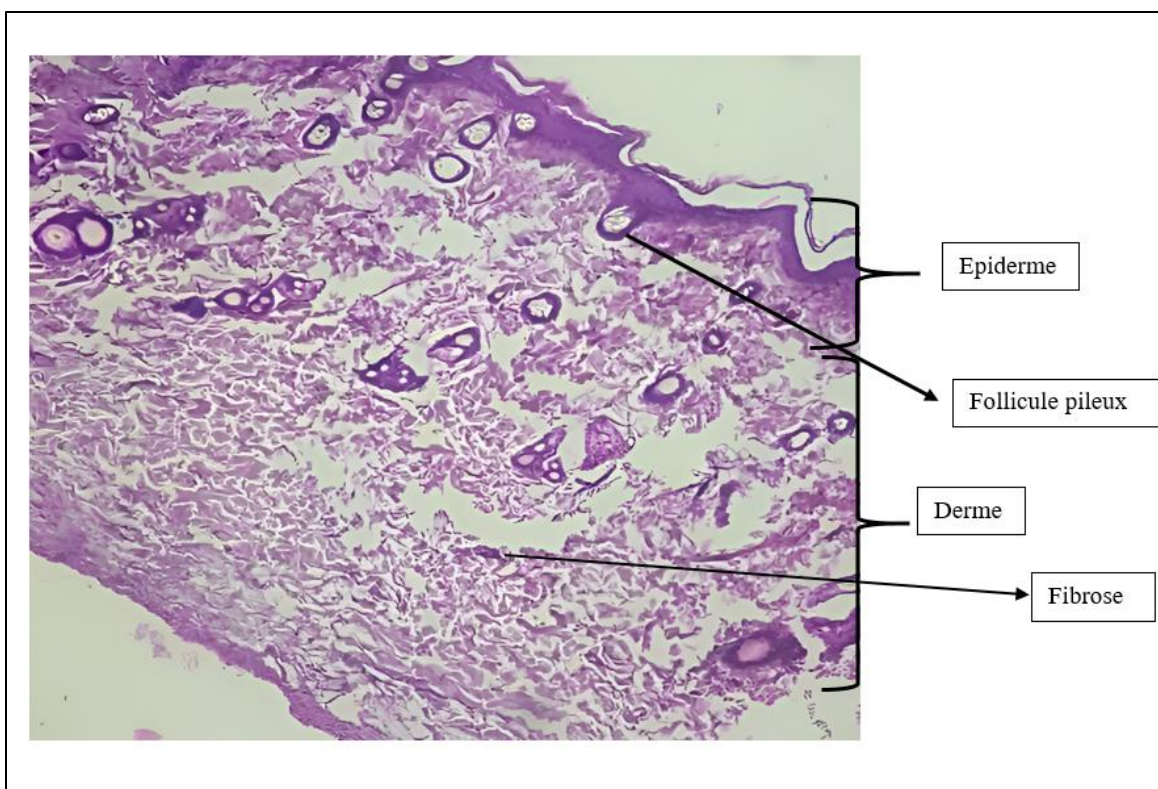
chronique.

Les foyers de micro-abcédation observés correspondent à de petits amas cellulaires nécrotiques remplis principalement de neutrophiles, traduisant une inflammation. Ils indiquent souvent la présence d'une infection active.

Cela peut être dû à certains composants lipidiques (esters de cire, acides gras libres...) présents dans HJ, qui ont la capacité de former un film hydrophobe à la surface de la peau. Une barrière obstructive peut limiter les échanges gazeux, notamment l'apport en oxygène, élément essentiel au bon déroulement de la prolifération cellulaire et à la synthèse de collagène par les fibroblastes. L'oxygène joue un rôle clé dans les différentes phases de la cicatrisation, en particulier durant les phases inflammatoire et proliférative. Ainsi, une barrière lipidique trop épaisse ou mal adaptée peut ralentir, voire perturber, la régénération tissulaire, compromettant la qualité et la rapidité du processus de cicatrisation (**Schreml *et al.* 2010**).

En outre, HJ étant un corps gras, elle peut créer une barrière physique, favorisant ainsi l'apparition d'un micro-environnement hypoxique propice à l'abcédation (**Beerlage *et al.* 2013**).

Nos résultats sont en contradiction avec ceux rapportés dans les études antérieures(**Ranzato *et al.* 2011**), qui ont montré que l'HJ accélère la fermeture des plaies en agissant à la fois sur les fibroblastes et les kératinocytes, et stimule la production de collagène de type I par les fibroblastes.



**Figure 54 :** Observation au microscope optique des coupes histologiques de la peau des rats Wistar d'ETJ (G  $\times 40$ ).

A partir des données histologiques obtenues de lot ETJ, Les tissus traités avec ETJ montre présence d'une fibrose cicatricielle indique que le tissu lésé est en cours de réparation. Elle correspond à un dépôt de matrice extracellulaire, principalement constitué de collagène, produit par les fibroblastes pour restaurer l'intégrité tissulaire. Le tissu de granulation, typique des phases actives de cicatrisation, est bien formé : il contient des fibroblastes, essentiels à la synthèse du collagène ; des cellules inflammatoires, ici essentiellement des lymphocytes ; ainsi que des nouveaux vaisseaux sanguins, témoignant d'un phénomène d'angiogenèse qui assure l'apport en oxygène et nutriments.

La rareté des cellules inflammatoires, principalement mononucléaires (lymphocytes et macrophages), montre que la phase inflammatoire est quasiment résolue. Cela signifie que le tissu est en train de passer à la phase de remodelage, où la structure cicatricielle va se réorganiser pour se stabiliser. Cette configuration histologique est donc caractéristique d'une phase de guérison avancée, avec des signes visibles de réparation tissulaire efficace.

Bien que les études portant spécifiquement sur ETJ soient limitées, des recherches sur des tourteaux issus d'autres plantes oléagineuses, telles que le neem, ont montré qu'ils favorisent la cicatrisation (**Preeti *et al.* 2017**).

Donc cette étude souligne que les effets tissulaires des sous-produits de jojoba diffèrent fortement selon leur forme. Alors que ETJ semblent favorables à la cicatrisation et bien tolérés, HJ peut entraîner une réaction inflammatoire chronique indésirable.



---

# Conclusion et Perspectives

---



La médecine traditionnelle conserve une place importante dans les pratiques thérapeutiques actuelles, répondant à une demande croissante pour des solutions naturelles sans effets indésirables majeurs. Dans ce contexte, les graines de *Simmondsia chinensis* (jojoba), riches en composés pharmacologiquement actifs, sont largement utilisées en cosmétique et en médecine traditionnelle. Cette étude s'est intéressée à deux sous-produits issus de ces graines : l'huile de jojoba (HJ) et l'extrait de tourteau de jojoba (ETJ), en comparant leurs activités antioxydantes et cicatrisantes. Les recherches bibliographiques et les tests phytochimiques ont confirmé la présence de flavonoïdes, polyphénols et autres composés bioactifs. Nos résultats expérimentaux révèlent que l'ETJ favorise significativement la cicatrisation, réduisant la taille des plaies et offrant une protection antioxydante et solaire efficace, tandis que HJ, utilisé pur, montre un effet négatif probable en raison de sa faible teneur en antioxydants et d'une concentration élevée en molécules potentiellement toxiques, pouvant être atténuée par dilution. Les essais *in vivo* sur rats ont confirmé l'effet cicatrisant supérieur de l'ETJ par rapport à HJ et au témoin négatif. Ainsi, cette étude montre pour la première fois le potentiel thérapeutique de l'ETJ et souligne l'importance de poursuivre les recherches dans ce domaine.

Afin d'approfondir ces résultats, plusieurs axes de recherche peuvent être envisagés :

- Explorer d'autres activités biologiques, notamment les propriétés antimicrobiennes et anti-inflammatoires.
- Déterminer la dose optimale HJ à utiliser pour favoriser la cicatrisation des plaies et inclure un agent émulsifiant pour une meilleure absorption et oxygénation de la peau.
- Évaluer l'effet combiné des sous-produits des graines de *Simmondsia chinensis* (HJ et ETJ), afin de mesurer leur efficacité comparée à leur utilisation séparée.



---

# Les Références Bibliographiques

---



- Abdou, Ahlam. 2018. “nutritional evaluation of treated jojoba meal by aspergillus oryzae as sheep feed.” *Egyptian J. Nutrition and Feeds* 21:35–51.
- Adams, J. A., Johnson, H. B., Bingham, F. T., & Yermanos, D. M. (1977). Gaseous exchange of *Simmondsia chinensis* (Jojoba) measured with a double isotope porometer and related to water stress, salt stress, and nitrogen deficiency. *Crop Science*, 17(1), 11–15. <https://doi.org/10.2135/cropsci1977.0011183x001700010004x>
- Ajazuddin, Alexander, A., Khichariya, A., Gupta, S., Patel, R. J., Giri, T. K., & Tripathi, D. K. (2013). Recent expansions in an emergent novel drug delivery technology: Emulgel. *Journal of Controlled Release*, 171(2), 122–132. <https://doi.org/10.1016/J.JCONREL.2013.06.030>
- Al-Ani, A. H. A., Strain, B. R., & Mooney, H. A. (1972). The physiological ecology of diverse populations of the desert shrub *Simmondsia chinensis*. *Ecology*, 60(1), 41–57.
- Al-Qizwini, H., Al-Khateeb, E., Mhaidat, N. M., & Maraqa, A. (2014). Antioxidant and antimicrobial activities of Jordanian *Simmondsia*. *European Scientific Journal*, 10(27), 229–241.
- Alphonse Doutriaux. 2021. “Quels Aliments Favoriser Pour Une Bonne Cicatrisation ?” Retrieved May 30, 2025 (<https://walter-learning.com/blog/sante/infirmier/plaies-et-cicatrisation/aliments-cicatrisation>).
- Al Shamma, G. A., Goll, C. C., Baird, T. B., Broom, J., Nicholas, G. A., & Richards, J. R. (1979). Changes in body composition after thermal injury in the rat. *British Journal of Nutrition*, 42(3), 367–375. <https://doi.org/10.1079/BJN19790126>
- Ardestani, A., & Yazdanparast, R. (2007). Antioxidant and free radical scavenging potential of *Achillea santolina* extracts. *Food Chemistry*, 104(1), 21–29. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.10.066>
- Arya, D., & Khan, S. (2016). A review of *Simmondsia chinensis* (Jojoba) “The desert gold”: A multipurpose oil seed crop for industrial uses. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 8(6), 381–389.
- Azzez., Khouloud. 2019. “Caractérisation et Modélisation Du Comportement Mécanique *in vivo* de La Peau.” *Université de Lyon*.

## B

- Bala, Raman. 2021. "Jojoba - The Gold of Desert." *Deserts and Desertification? Department of Environmental Science, Maharshi Dayanand University, Rohtak, India* 1–12. doi: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.99872>.
- Barnett, Christine A., and Anne Buison. 2021. "In Wound Healing." *Dietetics in Health Care Communities (DHCC)* 45(2):1–19.
- Beauty, N. (2007). Jojoba meal– *L'Atelier de Beauté Naturelle*. [https://naturalbeautyworkshop.com/my\\_weblog/2007/09/jojoba-meal.html](https://naturalbeautyworkshop.com/my_weblog/2007/09/jojoba-meal.html)
- Beerlage, C., Greb, J., Kretschmer, D., Assaggaf, M., Trackman, P. C., Hansmann, M. L., Bonin, M., Eble, J. A., Peschel, A., Brüne, B., & Kempf, V. A. J. (2013). Hypoxia-inducible factor 1-regulated lysyl oxidase is involved in *Staphylococcus aureus* abscess formation. *Infection and Immunity*, 81(7), 2562–2573. <https://doi.org/10.1128/IAI.00302-13>
- Begum, F., Kotian, P. J., Hiremath, S., Ramdasi, A., Sharma, A., & Beegum, F. (2024). Jojoba oil hastens dexamethasone-induced delayed wound healing: A preclinical study. *Pharmaceutical Sciences*, 30(3), 332–338. <https://doi.org/10.34172/PS.2024.8>
- Belhadj, Sahla, Olfa Hentati, Ghaith Hamdaoui, Khaskhoussi Fakhreddine, Elisa Maillard, Stéphanie Dal, and Séverine Sigrist. 2018. "Beneficial Effect of Jojoba Seed Extracts on Hyperglycemia-Induced Oxidative Stress in RINm5f Beta Cells." *Nutrients* 10(3). doi: 10.3390/NU10030384,.
- Bentahar, A., Bouaziz, A., Djidel, S., & Khennouf, S. (2020). Phenolic content and antioxidant activity of ethanolic extracts from *Citrus sinensis* L. and *Citrus reticulata* L. fruits. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*, 10(5-s), 308–313. <https://doi.org/10.22270/jddt.v10i5-s.4537>
- Biga, Lindsay M., Staci Bronson, Sierra Dawson, Amy Harwell, Robin Hopkins, Joel Kaufmann, Mike LeMaster, Philip Matern, Katie Morrison-Graham, Kristen Oja, Devon Quick, Jon Runyeon, OSU OERU, and OpenStax. 2019. "5.1 Layers of the Skin."

Blois, M. S. (1958). Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*, 181(4617), 1119–1200.

Bonneville M. 2006. Physiopathologie de l'inflammation cutanée: rôle de l'activation de l'immunité innée cutanée dans le développement de l'eczéma allergique de contact. Immunologie. Université Claude Bernard- Lyon.

Bougandoura, N., & Bendimerad, N. (2013). Évaluation de l'activité antioxydante des extraits aqueux et méthanolique de *Satureja calamintha* ssp. *nepeta* (L.) Briq. *Revue Nature et Technologie*, 5(2), 14–19.

Bouhekrit, M. (2023). *MMADB TP 2 : Méthodes d'extraction*. Centre Universitaire Abd-Elhafid Boussouf, Mila 3.

Brochero, jairo ricardo barreto R. .. Moisés. (1986). “La Jojoba ( *Simmondsia Chinensis* ( Link) Schneider )Su Industrializacion y Perspectivas en Colombia.” in *subgerencia de investigacion y transferencia de tecnologia agropecuaria divison de cultivos industriales*.

Bruneton, J. (1999). *Pharmacognosie : Phytochimie, plantes médicinales* (1120 p.). <https://books.google.com/books/about/Pharmacognosie.html?hl=fr&id=KV4BPgAACAAJ>

Busson-Breyse, J., Farines, M., & Soulier, J. (1994). Jojoba wax: Its esters and some of its minor components. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 71(9), 999–1002. <https://doi.org/10.1007/BF02542268>

## C

Cedillo-Cortezano, M., Martinez-Cuevas, L. R., Márque López, J. A., Barrera López, I. L., Escutia-Perez, S., & Petricevich, V. L. (2024). Use of medicinal plants in the process of wound healing: A literature review. *Pharmaceuticals*, 17(3), 303. <https://doi.org/10.3390/ph17030303>

Cokelaere, M., Flo, G., Decuypere, E., Vermaut, S., Daenens, P., & Van Boven, M. (1995). Evidences for a satiating effect of defatted jojoba meal. *Industrial Crops and Products*, 4(2), 91–96. [https://doi.org/10.1016/0926-6690\(95\)00020-D](https://doi.org/10.1016/0926-6690(95)00020-D)

## D

Dai, J., & Mumper, R. J. (2010). Plant phenolics: Extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. *Molecules*, 15(10), 7313–7352. <https://doi.org/10.3390/molecules15107313>

David VALANCOGNE. 2023. “Les Nutriments Indispensables à La Cicatrisation : Rappels Aux Experts - E-Medicica.” Retrieved May 30, 2025 (<https://e-medicica.com/toutes-les-actualites/trucs-astuces/nutriments-indispensables-cicatrisation/>).

De Jaeger, C., & Cherin, P. (2012). Matrice extracellulaire, physiologie et vieillissement vasculaire. *Médecine & Longévité*, 4(1), 41–53. <https://doi.org/10.1016/j.mlong.2012.02.002>

Geras. 1990. “La peau.” *In Dermatology* 1-38.

## E

Ebrahimzadeh, Mohammad Ali, Reza Enayatifard, Masoumeh Khalili, Mahdieh Ghaffarloo, Majid Saeedi, and Jamshid Yazdani Charati. 2014. “Correlation between Sun Protection Factor and Antioxidant Activity, Phenol and Flavonoid Contents of Some Medicinal Plants.” *Iranian Journal of Pharmaceutical Research : IJPR* 13(3):1041.

Emily La Brique. 2022. “L’huile Végétale de Jojoba : Ses Propriétés et Ses Bienfaits En Cosmétique.” Retrieved June 4, 2025 (<https://www.savonnerielabrique.com/blog/les-huiles-vegetales/l-huile-vegetale-de-jojoba-ses-proprietes-et-ses-bienfaits-en-cosmetique.html>).

Elisabethsanchez. (2023). *10 conseils pour la cicatrisation des plaies – Réussis ton IFSI*. <https://reussistonifsi.fr/10-conseils-cicatrisation-plaies>

## F

Faivre, J. M. (1991). La cicatrisation dirigée. *Soins. Chirurgie (Paris, France : 1982)*, 46(126–127), 14–15.

Ferreira, T. S., Moreira, C. Z., Cária, N. Z., Victoriano, G., Silva, W. F., & Magalhães, J. C.

(2014). Fitoterapia: Introdução a sua história, uso e aplicação. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 16(2), 290–298. <https://doi.org/10.1590/S1516-05722014000200019>

Flo, G., Vermaut, S., Darras, V. M., Van Boven, M., Decuypere, E., Kühn, E. R., Daenens, P., & Cokelaere, M. (1999). Effects of simmondsin on food intake, growth, and metabolic variables in lean (+/?) and obese (fa/fa) Zucker rats. *British Journal of Nutrition*, 81(2), 159–167. <https://doi.org/10.1017/S0007114599000306>

## G

Gad, H. A., Roberts, A., Hamzi, S. H., Gad, H. A., Touiss, I., Altyar, A. E., Kensara, O. A., & Ashour, M. L. (2021). Jojoba oil: An updated comprehensive review on chemistry, pharmaceutical uses, and toxicity. *Polymers*, 13(11), 1–22. <https://doi.org/10.3390/polym13111711>

Gentry, H. S. (1958). The natural history of jojoba (*Simmondsia chinensis*) and its cultural aspects. *Economic Botany*, 12(3), 261–295. <https://doi.org/10.1007/BF02859772>

Gil-Martín, E., Forbes-Hernández, T., Romero, A., Cianciosi, D., Giampieri, F., & Battino, M. (2022). Influence of the extraction method on the recovery of bioactive phenolic compounds from food industry by-products. *Food Chemistry*, 378, 131918. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131918>

## H

Hashemi, Zahra, Mohammad Ali Ebrahimzadeh, and Masoumeh Khalili. 2019. “Sun Protection Factor, Total Phenol, Flavonoid Contents and Antioxidant Activity of Medicinal Plants from Iran.” *Tropical Journal of Pharmaceutical Research* 18(7):1443–48. doi: 10.4314/tjpr.v18i7.11.

Hebi, M., & Eddouks, M. (2016). Évaluation de l'activité antioxydante de *Stevia rebaudiana*. *Phytothérapie*, 14(1), 17–22. <https://doi.org/10.1007/s10298-015-0999-y>

Homberg, J. R., Wöhr, M., & Alenina, N. (2017). Comeback of the rat in biomedical research. *ACS Chemical Neuroscience*, 8(5), 900–903. <https://doi.org/10.1021/acscchemneuro.6b00415>

Hosseini, F. S., Hassani, H. S., Arvin, M. J., Baghizadeh, A., & Mohammadi-Nejad, G. (2011). Sex determination of jojoba (*Simmondsia chinensis* cv. Arizona) by random amplified polymorphic DNA (RAPD) molecular markers. *African Journal of*

*Biotechnology*, 10(4), 470–474. <https://doi.org/10.5897/AJB10.640>

Hu, L. Misery W. 2011. “Cicatrice , Cicatrisation.” *Ligatures et Sutures Chirurgicales* 1–2.

## I

Interchimie. (2018). Dossier technique et réglementaire : Huile de Jojoba Vierge (3 pages). *Interchimie*.

International Olive Oil Council. (2011). *Guide pour la détermination des caractéristiques des olives à huile* (COI/OH/Doc. No 1, pp. 1–34).

## k

Kakarla, P., Vadluri, G., & Kesireddy, S. R. (2005). Response of hepatic antioxidant system to exercise training in aging female rat. *Journal of Experimental Zoology Part A: Comparative Experimental Biology*, 303(3), 203–208. <https://doi.org/10.1002/jez.a.149>

Khaire, M., Bigoniya, J., & Bigoniya, P. (2023). An insight into the potential mechanism of bioactive phytocompounds in the wound management. *Pharmacognosy Reviews*, 17(33), 43–68. <https://doi.org/10.5530/097627870153>

Kimya, A. (2020). Huile de jojoba - *Ataman Kimya*. [https://www.atamanchemicals.com/jojoba-oil\\_u27106/?lang=FR](https://www.atamanchemicals.com/jojoba-oil_u27106/?lang=FR)

## L

Latarjet, J. (2024). Fiche 3 - Anatomie, physiologie et rôles de la peau (pp. 13–16). <https://doi.org/10.1016/B978-2-294-77360-0/00003-1>

Le Borgne, M., Dubois, B., & Kaiserlian, D. (2007). Cellules dendritiques des muqueuses et de la peau. *Médecine/Sciences*, 23(10), 819–825. <https://doi.org/10.1051/medsci/20072310819>

Létard, J.-C., Canard, J.-M., Costil, V., Dalbiès, P., Grunberg, B., Lapuelle, J., & CREGG. (2015). Phytothérapie – Principes généraux. *Hegel*, N° 1(1), 29. <https://doi.org/10.4267/2042/56337>

Lisan, B (1907). Fiche présentation arbre : *Simmondsia chinensis* (°). 1907.

Lopes, Susane, Giulia Galani, Luiz Augusto Martins Peruch, and Marcelo Maraschin. 2022. “In Vitro Determination of the Sun Protection Factor (SPF) and Photochemoprotection Potential of Aqueous Extract of Banana Peels (Musa Sp.) against UV-B Radiation.” *Biotechnology Research and Innovation* 6(2):e2022007. doi: 10.4322/biori.20226203.

## M

- Maurice, N. (1997). L'herboristerie d'antan à la phytothérapie moléculaire du XXI<sup>e</sup> siècle. *Éditions Lavoisier*.
- Martin, G. (1983). Réflexions sur les cultures oléagineuses énergétiques. 38(6).
- Marion. (2024). Huile de jojoba : propriétés et utilisations en cosmétique | Cocooncenter®. <https://www.cocooncenter.com/journal/huile-de-jojoba-une-alliee-precieuse-en-cosmetique-proprietes-et-utilisations.html>
- Marnys. (2019). Huile de jojoba, bienfaits et propriétés. Or liquide végétal | MARNYS. <https://www.marnys.com/es/magazine/propiedades-beneficios-aceite-jojoba-es>
- Matsui, S., Yamane, T., Kobayashi-Hattori, K., & Oishi, Y. (2014). Ultraviolet B irradiation reduces the expression of adiponectin in ovarian adipose tissues through endocrine actions of calcitonin gene-related peptide-induced serum amyloid A. *PLoS ONE*, 9(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0098040>
- Meyer, S. E. (1990). *Simmondsia chinensis* (Link) Schneid. Jojoba. 1976, 1049–1051.
- Mohamed, Rasha K., Dorria M. M. Ahmed, and Ferial M. Abu-salem. 2023. “Detoxification of Jojoba Meal Simmondsin by Production of Its Protein Isolates as a Protein Source in Food Applications.” *International Journal of Halal Research* 5(2):58–71.
- Müller, L., Gnoyke, S., Popken, A. M., & Böhm, V. (2010). Antioxidant capacity and related parameters of different fruit formulations. *LWT - Food Science and Technology*, 43, 992–999.
- Mansur, J. S., Breder, M. N. R., Mansur, M. C. A., & Azulay, R. D. (1986). Determinação do fator de proteção solar por espectrofotometria. *Anais Brasileiros de Dermatologia*, 61, 121–124.
- Mohamed, E.-A. A. (2007). Nutritional, biochemical and histopathological studies on jojoba protein isolate. *Brazilian Journal of Food Technology*, (June), 198–204.

## O

- Orwa, C., Mutua, A., Kindt, R., Jamnadass, R., & Anthony, S. (2009). *Simmondsia*

*chinensis* (Link) Schneider. 1–5.

## P

Pérez-Sánchez, Almudena, Enrique Barrajón-Catalán, María Herranz-López, Julián Castillo, and Vicente Micol. 2016. “Lemon Balm Extract (Melissa Officinalis, L.) Promotes Melanogenesis and Prevents UVB-Induced Oxidative Stress and DNA Damage in a Skin Cell Model.” *Journal of Dermatological Science* 84(2):169–77. doi: 10.1016/j.jdermsci.2016.08.004.

Perry, Robert. 2025. “Jojoba , Goatnut.” *Waterwise Community Center*. <https://waterwisegardenplanner.org/plants/simmondsia-chinensis/>

Pesteil, F., Vignaud, L., Bonté, F., & Desmoulière, A. (2017). Rôles primordiaux des fibroblastes dermiques dans la cicatrisation cutanée. *Revue Francophone de Cicatrisation*, 1(3), 45–49. [https://doi.org/10.1016/S2468-9114\(17\)30374-2](https://doi.org/10.1016/S2468-9114(17)30374-2)

Peter J. Delves. 2024. “Composantes Cellulaires Du Système Immunitaire - Immunologie; Troubles Allergiques - Édition Professionnelle Du Manuel MSD.” Retrieved June 6, 2025 (<https://www.msmanuals.com/fr/professional/immunologie-troubles-allergiques/biologie-du-système-immunitaire/composantes-cellulaires-du-système-immunitaire>).

Peyre J. La prise en charge à l’officine des cicatrices linéaires post-chirurgicales. *Sciences du Vivant* [q-bio]. 2021. dumas-03341932

Pulido, R., Bravo, L., & Saura-Calixto, F. (2000). Antioxidant activity of dietary polyphenols as determined by a modified ferric reducing/antioxidant power assay. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(8), 3396-3402. <http://dx.doi.org/10.1021/jf9913458>. PMID:10956123.

Preeti, Maan, Kuldeep Singh Yadav, and Narayan Prasad Yadav. 2017. “Wound Healing Activity of Azadirachta Indica A. Juss Stem Bark in Mice.” *Pharmacognosy Magazine* 13(Suppl 2):S316. doi: 10.4103/0973-1296.210163.

Prost-Squarcioni, C. (2006). Histologie de la peau et des follicules pileux. *Médecine/Sciences*, 22(2), 131–137. <https://doi.org/10.1051/medsci/2006222131>

## R

Ramos, P. N. (2011). Ficha técnica. *Rper*, 52(28), 1–2. <https://doi.org/10.59072/rper.vi28.329>

Ranzato, E., Martinotti, S., & Burlando, B. (2011). Wound healing properties of jojoba liquid wax: An in vitro study. *Journal of Ethnopharmacology*, 134(2), 443–449. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2010.12.042>

Rost, T. L., Simper, A. D., Schell, P., & Allen, S. (1977). Anatomy of jojoba (*Simmondsia chinensis*) seed and the utilization of liquid wax during germination. *Economic Botany*, 31(2), 140–147. <https://doi.org/10.1007/BF02866583>

## S

Sánchez, M., Avhad, M. R., Marchetti, J. M., Martínez, M., & Aracil, J. (2016). Jojoba oil: A state of the art review and future prospects. *Energy Conversion and Management*, 129, 293–304. <https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2016.10.038>

Santos, E. P., Z. M. Freitas, K. R. Souza, S. Garcia, and A. Vergnanini. 1999. “In Vitro and in Vivo Determinations of Sun Protection Factors of Sunscreen Lotions with Octyl Methoxycinnamate.” *International Journal of Cosmetic Science* 21(1):1–5. doi: 10.1046/J.1467-2494.1999.181658.X.,

Santrome.B (2023). Tout savoir sur la phytothérapie | *Santarome*. <https://www.santarome.fr/blogs/conseils-sante/bienfaits-phytotherapie>

Sayre, R. M., Agin, P. P., Levee, G. J., & Marlowe, E. A. (1979). Comparison of in vivo and in vitro testing of sun screening formulas. *Photochemistry and Photobiology*, 29(3), 559–566.

Schreml, S., R. M. Szeimies, L. Prantl, S. Karrer, M. Landthaler, and P. Babilas. 2010. “Oxygen in Acute and Chronic Wound Healing.” *British Journal of Dermatology* 163(2):257–68. doi: 10.1111/j.1365-2133.2010.09804.x.

Sham, Arjun, and Mohammed A. M. Aly. 2012. “Bioinformatics Based Comparative Analysis of Omega-3 Fatty Acids in Desert Plants and Their Role in Stress Resistance and Tolerance.” *International Journal of Plant Research* 2(3):80–89. doi: 10.5923/j.plant.20120203.06.

Sherbrooke, W. C., & Haase, E. F. (1974). *Jojoba: A wax-producing shrub of the*

*Sonoran Desert: Literature review and annotated bibliography* (Arid Lands Resource Information Paper No. 5, iv, 141 p.).

Shrestha, M. K., Peri, I., Smirnoff, P., Birk, Y., & Golan-Goldhirsh, A. (2002). Jojoba seed meal proteins associated with proteolytic and protease inhibitory activities. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(20), 5670–5675. <https://doi.org/10.1021/jf020161h>

Siahaan, Arnold Patogi, Eti Rohaeti, Ali Mahmoud Muddathir, and Irmanida Batubara. 2020. “Antioxidant Activity of Jojoba (*Simmondsia Chinensis*) Seed Residue Extract.” *Biosaintifika* 12(3):350–55. doi: 10.15294/biosaintifika.v12i3.23323.

Singleton, V. L., & Rossi, J. A. J. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144–158.

Sturtevant, D., Lu, S., Zhou, Z. W., Shen, Y., Wang, S., Song, J. M., Zhong, J., Burks, D. J., Yang, Z. Q., Yang, Q. Y., Cannon, A. E., Herrfurth, C., Feussner, I., Borisjuk, L., Munz, E., Verbeck, G. F., Wang, X., Azad, R. K., Singleton, B., ... Guo, L. (2020). The genome of jojoba (*Simmondsia chinensis*): A taxonomically isolated species that directs wax ester accumulation in its seeds. *Science Advances*, 6(11), eaay3240. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aay3240>

Suryawanshi, Jyotsna A. Saonere. 2016. “In-Vitro Determination of Sun Protection Factor and Evaluation of Herbal Oils.” *International Journal of Pharmacology Research* 6(1):37–43.

Sy, S. (2007). Agriculture: Le jojoba, l’or vert.

Szydlowska-Czerniaka, A., Dianoczki, C., Recseg, K., Karlovits, G., & Szlyk, E. (2008). Determination of antioxidant capacities of vegetable oils by ferric-ion spectrophotometric methods. *Talanta*, 76, 899–905.

## T

Testard-Vaillant, P. (2016). Une histoire d’autodétermination. *Science et Santé*, (31), 1–23.

Tietel, Z., Kahremany, S., Cohen, G., & Ogen-Shtern, N. (2021). Medicinal properties of jojoba (*Simmondsia chinensis*). *Israel Journal of Plant Sciences*, 26(3).

<https://doi.org/10.1163/22238980-bja10023>

Tietel, Z., Melamed, S., Ogen-Shtern, N., Eretz-Kdosha, N., Silberstein, E., Ayzenberg, T., Dag, A., & Cohen, G. (2024). Topical application of jojoba (*Simmondsia chinensis* L.) wax enhances the synthesis of pro-collagen III and hyaluronic acid and reduces inflammation in the ex-vivo human skin organ culture model. *Frontiers in Pharmacology*, 15, 1333085. <https://doi.org/10.3389/fphar.2024.1333085/full>

Topçu, G., Ay, A., Bilici, A., Sarıkürkcü, C., Öztürk, M., & Ulubelen, A. (2007). A new flavone from antioxidant extracts of *Pistacia terebinthus*. *Food Chemistry*, 103, 816–822.

Twarog, Caroline. 2018. “Particules Janus Pour Des Applications Industrielles : Stabilités et Incorporation de Principes Actifs.” (February):19.

## V

Van Boven, M., Daenens, P., Maes, K., & Cokelaere, M. (1997). Content and composition of free sterols and free fatty alcohols in jojoba oil obtained from the seeds of the evergreen. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45, 1180–1184.

Vaughan, J. G. (1970). *The structure and utilization of oil seeds*. London: Chapman and Hall.

Verbiscar, A. J., & Banigan, T. F. (1978). Composition of jojoba seeds and foliage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 26(6), 1456–1459. <https://doi.org/10.1021/jf60220a032>

Vitals, Aadhunik Ayurveda. (2025). *Aadhunik Ayurveda*. Consulté le 18 mai 2025, sur <https://aadhunikayurveda.com/cold-pressed-jojoba-oil-mail.html>

## W

Wilson, Brummitte Dale, Summer Moon, and Frank Armstrong. 2012. “Comprehensive Review of Ultraviolet Radiation and the Current Status on Sunscreens.” *The Journal of Clinical and Aesthetic Dermatology* 5(9):18.

Wisniak, Jaime. 1977. “OIL AND.” *Pergamon Press* 15:167–218.

Wisniak, Jaime. 1987. “The Chemistry and Technology of Jojoba Oil.” 272.

## Y

Yefrida, Hamzar Suyani, Admin Alif, Mai Efdi, and Hermansyah Aziz. 2018. "Modification of Phenanthroline Method to Determine Antioxidant Content in Tropical Fruits Methanolic Extract." *Research Journal of Chemistry and Environment* 22(4):28–35.

## Z

Zahid, A., Muhammad, A. H., Zahid, R., & Hasnain, M. (2024). Jojoba oil: A best-in-class assessment as cosmetics and forthcoming opportunities. <https://www.researchgate.net/publication/381162276>

Zulkefli, N., Che Zahari, C. N. M., Sayuti, N. H., Kamarudin, A. A., Saad, N., Hamezah, H. S., Bunawan, H., Baharum, S. N., Mediani, A., Ahmed, Q. U., Ismail, A. F. H., & Sarian, M. N. (2023). Flavonoids as potential wound-healing molecules: Emphasis on pathways perspective. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(5), 4607. <https://doi.org/10.3390/ijms24054607>



**Planche 01 :** matériels utilisés pour la lecture des absorbances.

1 : Logiciel EnSpire pour la lecture des absorbances et un lecteur de microplaques,  
2 : microplaques.



**Planche 02:** matériels utilisés pour les dosages et l'activité antioxydante

1 : eppendorfs pour la préparation des différentes concentrations de la solution des échantillons, micropipette a 96 puits pour le dépôt du mélange réactionnel, 2 : micropipette + embout.

### Préparation de la solution d'extrait des tourteaux de Jojoba pour l'application dermique

Pour préparer une solution d'extrait des tourteaux à 5 %, nous avons dissous 2,25 g des tourteaux dans un mélange de 45 ml, composé à parts égales d'eau distillée (22,5 ml) et de vaseline liquide (22,5 ml). Afin d'extraire les principes actifs, un extrait alcoolique à 50 % a d'abord été préparé en mélangeant 12 ml d'éthanol à 99,9 % avec 12,69 ml d'eau distillée, selon le tableau de Gay-Lussac. Ce mélange alcoolique a ensuite été ajouté progressivement aux 2,25 g des tourteaux dans flacon, suivi d'une agitation manuelle pendant 2 min, puis d'une dissolution par ultrasons durant 9 min pour favoriser la dissolution des composés actifs. Enfin, 22,5 ml de vaseline liquide ont été ajoutés au mélange alcool-tourteaux, puis agités à nouveau manuellement pendant 2 min pour homogénéiser la solution. Cette préparation est destinée à un test sur trois rats, chacun recevant 1 ml d'huile (préparation) par jour pendant 15 jours, soit un total de 45 ml.

Peser 2,25 g de tourteaux pour 45 ml de solution : d'eau distillée (22,5 ml) et de vaseline liquide (22,5 ml).

2. Volume de traitement pour 3 rats :

- 1 rat reçoit 1 ml /jour pendant 15 jours → 15 ml /rat.
- Pour 3 rats :  $15 \text{ ml} \times 3 = 45 \text{ ml}$

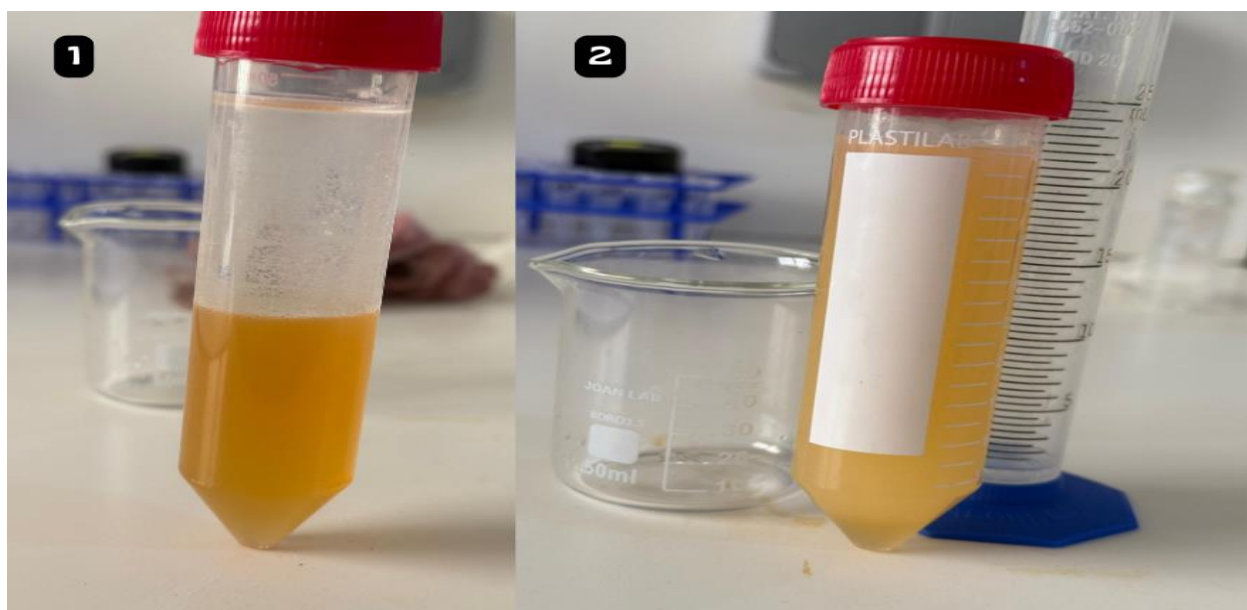
Volume total nécessaire: 45 ml.

3. Préparation de l'alcool à 50 % (à partir d'éthanol 99,9 %) :

- D'après le tableau de Gay-Lussac (figure 04) :

$$\begin{array}{l} 100 \text{ ml alcool} \rightarrow 105,8 \text{ ml eau} \\ 12 \text{ ml alcool} \rightarrow X \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} 100 \text{ ml alcool} \rightarrow 105,8 \text{ ml eau} \\ 12 \text{ ml alcool} \rightarrow X \end{array}} \right\} X = \frac{12 \times 105,8}{100} = 12,69 \text{ ml eau}$$

Pour 12ml d'éthanol, on a ajouté 12,69 ml d'eau distillée pour obtenir une solution à 50%



**Planche 03 :** Préparation de la solution d'extraits des tourteaux de Jojoba pour l'application dermique

1 : Mélange formé de 5 % d'extraits (jaune) ajouté à l'éthanol 50%–vaseline 50% (transparent), avant agitation, 2 : la mixture 1, après agitation.

Table pour la dilution de l'alcool (Table de **Gay-Lussac**) appelée aussi Table de mouillage de l'alcool

|                             |    | Concentration initiale |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-----------------------------|----|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                             |    | 100                    | 99     | 98     | 97     | 96     | 95     | 90     | 85     | 80     | 75     | 70     |
| Concentration<br><br>finale | 95 | 6,5                    | 5,15   | 3,83   | 2,53   | 1,25   |        |        |        |        |        |        |
|                             | 90 | 13,25                  | 11,83  | 10,43  | 9,07   | 7,73   | 6,41   |        |        |        |        |        |
|                             | 85 | 20,54                  | 19,05  | 17,58  | 16,15  | 14,73  | 13,33  | 6,56   |        |        |        |        |
|                             | 80 | 28,59                  | 27,01  | 25,47  | 23,95  | 22,45  | 20,95  | 13,79  | 6,83   |        |        |        |
|                             | 75 | 37,58                  | 35,9   | 34,28  | 32,67  | 31,08  | 29,52  | 21,89  | 14,48  | 7,2    |        |        |
|                             | 70 | 47,75                  | 45,98  | 44,25  | 42,54  | 40,85  | 39,18  | 31,05  | 23,14  | 15,35  | 7,64   |        |
|                             | 65 | 59,37                  | 57,49  | 55,63  | 53,81  | 52     | 50,22  | 41,53  | 33,03  | 24,66  | 16,37  | 8,15   |
|                             | 60 | 72,82                  | 70,8   | 68,8   | 65,85  | 64,92  | 63     | 53,65  | 44,48  | 35,44  | 26,47  | 17,58  |
|                             | 55 | 88,6                   | 86,42  | 84,28  | 82,16  | 80,06  | 77,99  | 67,87  | 57,9   | 48,07  | 38,32  | 28,63  |
|                             | 50 | 107,44                 | 105,08 | 102,75 | 100,44 | 98,15  | 95,89  | 84,71  | 73,9   | 63,04  | 52,43  | 41,73  |
|                             | 45 | 130,26                 | 127,67 | 125,11 | 122,57 | 120,06 | 117,57 | 105,34 | 93,3   | 81,38  | 69,54  | 57,78  |
|                             | 40 | 158,56                 | 155,68 | 152,84 | 150,02 | 142,22 | 144,46 | 130,8  | 117,34 | 104,01 | 90,76  | 77,58  |
|                             | 35 | 194,63                 | 191,39 | 188,19 | 185,01 | 181,85 | 178,71 | 163,28 | 148,01 | 132,88 | 117,82 | 102,84 |
|                             | 30 | 242,38                 | 238,67 | 234,99 | 231,33 | 227,7  | 224,08 | 206,22 | 188,57 | 171,05 | 153,61 | 136,04 |
|                             | 25 | 308,9                  | 304,52 | 300,18 | 295,86 | 291,56 | 287,28 | 266,12 | 245,15 | 224,3  | 203,61 | 182,83 |
|                             | 20 | 408,5                  | 403,13 | 397,79 | 392,47 | 387,17 | 381,9  | 355,8  | 329,84 | 304,01 | 278,26 | 252,58 |
|                             | 15 | 574,75                 | 567,43 | 560,53 | 553,55 | 546,59 | 539,66 | 505,27 | 471    | 436,85 | 402,81 | 368,83 |
|                             | 10 | 907,09                 | 896,73 | 886,4  | 876,1  | 865,15 | 855,15 | 804,5  | 753,65 | 702,89 | 652,21 | 601,6  |

## Les calculs pour préparer la dose exacte d'anesthésie en fonction du poids des rats :

- Selon la moyennes des poids des rats :  $220 \text{ g} = 0,22 \text{ kg}$
- Concentration des flacons :
  - Kétamile:  $50 \text{ mg/mL}$
  - Xilazi :  $20 \text{ mg/mL}$
- Posologies usuelles :
  - Kétamile:  $100 \text{ mg/kg}$
  - Xilazi :  $100 \text{ mg/kg}$

### 1. Calcul des doses nécessaires en mg :

#### 1.1. Quantité de kétamine nécessaire pour les rats :

$$\begin{array}{l} 1\text{kg} \rightarrow 100 \text{ mg} \\ 0,22\text{kg} \rightarrow X \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} 1\text{kg} \rightarrow 100 \text{ mg} \\ 0,22\text{kg} \rightarrow X \end{array}} \right\} X = \frac{100 \times 0,22}{1} = 22\text{mg de Kétamile}$$

#### 1.2. Quantité de xilazi nécessaire pour les rats

$$\begin{array}{l} 1\text{kg} \rightarrow 100 \text{ mg} \\ 0,22\text{kg} \rightarrow X \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} 1\text{kg} \rightarrow 100 \text{ mg} \\ 0,22\text{kg} \rightarrow X \end{array}} \right\} X = \frac{100 \times 0,22}{1} = 22\text{mg Xilazi}$$

### 2. Calcul des volumes à injecter (selon concentration)

#### 2.1. Volume de kétamile ( $20 \text{ mg/mL}$ ) contenant $2,2 \text{ mg}$

$$\begin{array}{l} 50\text{mg} \rightarrow 1 \text{ ml} \\ 22\text{mg} \rightarrow X \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} 50\text{mg} \rightarrow 1 \text{ ml} \\ 22\text{mg} \rightarrow X \end{array}} \right\} X = \frac{22 \times 1}{50} = 0,44\text{ml de Kétamile}$$

#### 2.2. Volume de Xilazi ( $20 \text{ mg/mL}$ ) contenant $2,2 \text{ mg}$

$$\begin{array}{l} 20\text{mg} \rightarrow 1 \text{ ml} \\ \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} 20\text{mg} \rightarrow 1 \text{ ml} \\ \end{array}} \right\} X = \frac{2,2 \times 1}{20} = 1,1\text{ml de Xilazi}$$

22mg → X

I. **Préparation d'un extrait de tourteaux à 5% :**

**Objectif :** Préparer 45 ml d'une solution à 5 % d'extrait de tourteaux.

a) Règle de trois :

$$\begin{array}{ll} 5g & \rightarrow 100ml \\ X & \rightarrow 45ml \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} 5g \\ X \end{array}} \right\} \quad X = \frac{45 \times 5}{100} = 2,25g$$

## الملخص

*Simmondsia chinensis* (الجوجوبا) هي نبات طبي تقليدياً يُستخدم لعلاج الأمراض الجلدية. يهدف هذا العمل إلى تقييم تأثير الشفاء لزيت الجوجوبا ومستخلص بقايا الجوجوبا (المخلفات الصلبة بعد استخراج الزيت) في الجسم الحي لدى الفأر ويستار، وكذلك أنشطتهما البيولوجية في المختبر. تمت دراسة التئام الجروح على ثلاث مجموعات من ثلاثة فئران (إناث) لكل منها: مجموعة الشاهدة سلبية، مجموعة معالجة بزيت الجوجوبا، ومجموعة معالجة بمستخلص بقايا بذور الجوجوبا. تم إحداث جرح بقطر 1.6 سم لدى كل فأر، تليه علاج موضعي يومي (1 مل/يوم) لمدة 15 يومًا. أظهرت التحليلات الإحصائية زيادة وزن كبيرة في مجموعة مستخلص بقايا بذور الجوجوبا، بينما سجلت المجموعة الشاهدة ( $p = 0.004$ ) والمجموعة المعالجة بالزيت ( $p = 0.134$ ) انخفاضًا في الوزن كشفت التحاليل النسيجية عن تجديد نسيجي أكثر تقدمًا لدى مجموعة مستخلص بقايا بذور الجوجوبا، والذي يتميز بتغطية كاملة للجلد وعدم وجود التهابات.

في الوقت نفسه، أظهرت التحاليل المخبرية (DPPH، الفينانثرولين، مضاد الشمس) أن المستخلص يمتلك نشاطًا مضادًا للأكسدة عاليًا، تأثير واضح في تقليل الإجهاد التأكسدي، بالإضافة إلى قدرة على الحماية من الشمس. تشير هذه النتائج إلى وجود إمكانيات شفاء وحماية جلدية قوية لـ مستخلص بقايا بذور الجوجوبا، وذلك بفضل غناه بالمركبات النشطة بيولوجيًا. بينما أظهرت زيت الجوجوبا تأثيرًا سلبيًا على التئام الجروح، وهو ما قد يُفسر بالجرعة المستخدمة. في الواقع، قد يكون تطبيق الزيت النقي قد تسبب في تأثير غير مرغوب فيه، من المحتمل أن يكون ناتجًا عن جرعة زائدة أو امتصاص غير جيد. وعلى الرغم من احتوائه على الفلافونويدات، والبوليفينولات، وغيرها من المركبات الفعالة، فإن امتصاصها وكذلك تزويد الجلد بالأوكسجين يظلان من العوامل الحاسمة في عملية التئام الجلد.

**الكلمات المفتاحية:** *Simmondsia chinensis*، زيت الجوجوبا، بقايا بذور الجوجوبا، التئام الجروح، التحاليل النسيجية، مضاد أكسدة، فئران ويستار.

## Abstract

*Simmondsia chinensis* (Jojoba) is a medicinal plant, traditionally used to treat skin diseases. The aim of the present study is to evaluate the wound healing effect of jojoba oil and jojoba meal extract (solid residues after oil extraction) *in vivo* in 9 female Wistar rats, and their *in vitro* biological activities. The cicatrisation test was conducted using three groups of three rats (females) each: a control group, a group treated with jojoba oil, and a group treated with the seed meal extract. A lesion of 1.6 cm was created in each animal and was followed by daily topically applied treatment (1 ml/day) for 15 days. Statistical analysis showed a significant weight gain in the group treated with the jojoba meal extract ( $p = 0.000$ ), while the control ( $p = 0.004$ ) and jojoba oil ( $p = 0.134$ ) groups showed a weight reduction. Histological examination revealed more advanced tissue regeneration in rats treated with the jojoba meal extract, which was expressed in complete re-epithelialization and a lack of inflammation. Simultaneously, *in vitro* tests (DPPH, phénanthroline, anti-solar) revealed that the extract exhibits significant antioxydant activity, good reducing power, and solar ray protection. These findings give grounds for a high healing and skin protection potential associated with jojoba meal extract, which is attributed to its content of bioactive compounds. Even though Jojoba oil showed a negative effect on wound healing, this could be explained by the dose used. Indeed, the application of pure oil may have caused an adverse effect, possibly due to an overdose or poor absorption. Although it contains flavonoids, polyphenols, and other beneficial metabolites, their absorption as well as the oxygenation of the skin remain key factors in the wound healing process.

**Keywords:** *Simmondsia chinensis*, jojoba oil, seed meal, wound healing, histological, antioxidant, Wistar rats.

## Résumé

*Simmondsia chinensis* (Jojoba) est une plante médicinale traditionnellement utilisée pour traiter les affections cutanées. Ce travail a pour objectif d'évaluer l'effet cicatrisant de l'huile de jojoba et de l'extrait de tourteaux de jojoba (résidus solides après extraction de l'huile) *in vivo* chez le rat Wistar, ainsi que leurs activités biologiques *in vitro*. L'étude de cicatrisation a été réalisée sur trois groupes de trois rats (femelles) chacun : un groupe témoin négative, un groupe traité par l'huile de jojoba, et un groupe traité par l'extrait de tourteaux. Une plaie de 1,6 cm a été induite chez chaque animal, suivie d'un traitement topique quotidien (1 ml/jour) pendant 15 jours. L'analyse statistique a montré une prise de poids significative dans le groupe traité par les tourteaux ( $p = 0,000$ ), tandis que les groupes témoin ( $p = 0,004$ ) et huile ( $p = 0,134$ ) ont présenté une perte de poids. L'évaluation histologique a révélé une régénération tissulaire plus avancée chez les rats traités avec l'extrait de tourteaux, caractérisée par une réépithélialisation complète et l'absence d'inflammation. En parallèle, les tests *in vitro* (DPPH, phénanthroline, anti-solaire) ont montré que l'extrait possède une activité antioxydante élevée, un bon pouvoir réducteur, ainsi qu'une capacité de protection solaire. Ces résultats suggèrent un fort potentiel cicatrisant et protecteur cutané de l'extrait de tourteaux de jojoba, attribué à sa richesse en composés bioactifs. Tandis que l'huile de jojoba a présenté un effet négatif sur la cicatrisation, ce qui pourrait s'expliquer par la dose utilisée. En effet, l'application de l'huile pure pourrait avoir provoqué un effet indésirable, possiblement lié à un surdosage ou à une mauvaise absorption. Bien qu'elle contienne des flavonoïdes, des polyphénols et d'autres métabolites favorisant ; leur absorption ainsi que l'oxygénation de la peau restent des facteurs déterminants dans la cicatrisation de la peau.

**Mots clés :** *Simmondsia chinensis*, huile de jojoba, tourteaux, cicatrisation, histologique, antioxydant, rats Wistar.

|  |  |
|--|--|
| <p align="center"><b>Année universitaire : 2024-2025</b></p>   | <p><b>Présenté par :</b><br/> MOHAND AMER Chabha<br/> NEMMOUR Djihane Darine</p> |
| <p align="center"><b>Thème : Etude de l'activité antioxydante et cicatrisante de <i>Simmondsia chinensis</i> : comparaison entre l'effet de l'huile et des tourteaux.</b></p>  |  |
| <p align="center"><b>Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Biochimie</b></p>  |  |
| <p><b>Résumé :</b></p> <p><i>Simmondsia chinensis</i> (Jojoba) est une plante médicinale traditionnellement utilisée pour traiter les affections cutanées. Ce travail a pour objectif d'évaluer l'effet cicatrisant de l'huile de jojoba et de l'extrait de tourteaux de jojoba (résidus solides après extraction de l'huile) <i>in vivo</i> chez le rat Wistar, ainsi que leurs activités biologiques <i>in vitro</i>.</p> <p>L'étude de cicatrisation a été réalisée sur trois groupes de trois rats (femelles) chacun : un groupe témoin négative, un groupe traité par l'huile de jojoba, et un groupe traité par l'extrait de tourteaux. Une plaie de 1,6 cm a été induite chez chaque animal, suivie d'un traitement topique quotidien (1 ml/jour) pendant 15 jours. L'analyse statistique a montré une prise de poids significative dans le groupe traité par les tourteaux (<math>p = 0,000</math>), tandis que les groupes témoin (<math>p = 0,004</math>) et huile (<math>p = 0,134</math>) ont présenté une perte de poids.</p> <p>L'évaluation histologique a révélé une régénération tissulaire plus avancée chez les rats traités avec l'extrait de tourteaux, caractérisée par une réépithélialisation complète et l'absence d'inflammation.</p> <p>En parallèle, les tests <i>in vitro</i> (DPPH, phénanthroline, anti-solaire) ont montré que l'extrait possède une activité antioxydante élevée, un bon pouvoir réducteur, ainsi qu'une capacité de protection solaire. Ces résultats suggèrent un fort potentiel cicatrisant et protecteur cutané de l'extrait de tourteaux de jojoba, attribué à sa richesse en composés bioactifs. Tandis que l'huile de jojoba a présenté un effet négatif sur la cicatrisation, ce qui pourrait s'expliquer par la dose utilisée. En effet, l'application de l'huile pure pourrait avoir provoqué un effet indésirable, possiblement lié à un surdosage ou à une mauvaise absorption. Bien qu'elle contienne des flavonoïdes, des polyphénols et d'autres métabolites favorisant ; leur absorption ainsi que l'oxygénation de la peau restent des facteurs déterminants dans la cicatrisation de la peau.</p> |  |
| <p><b>Mots-clés :</b> <i>Simmondsia chinensis</i>, huile de jojoba, tourteaux de jojoba, cicatrisation, histologique, antioxydante, rats Wistar.</p>   |  |
| <p><b>Laboratoires de recherche :</b> Centre de Recherche en Biotechnologie (CRBT).<br/> Laboratoire d'animalerie (U Constantine 1 Frères Mentouri).</p>   |  |
| <p><b>Présidente du jury :</b> Mme BENNAMOUN. L MCA - Univ Constantine 1.</p>  |  |
| <p><b>Encadrante :</b> Mme KHATTABI. L MRB – Centre de Recherche en Biotechnologie (CRBt).</p>   |  |
| <p><b>Examinatrice :</b> Mme BENCHIHEUB. M MCA - Univ Constantine 1.</p>   |  |