



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ ABOU BEKR BELKAID – TLEMCEM
FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DÉPARTEMENT D'AGRONOMIE

Spécialité : **Biologie de la Nutrition**

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de :
MASTER 2 en Biologie de la Nutrition

Thème :

**Étude comparative des 3 extraits de safran par différentes méthodes
D'extractions " Activité Anti-inflammatoires et DPPH"**

Présenté par :

Soutenu le : 09/10/2025

Nom et prénom : BEKADDOUR CHIHAB EDDINE

Nom et prénom : KETITA MUSTAPHA ELHADI

Devant le jury :

PRÉSIDENTE :	MADAME MERZOUK HAFIDA ,	PROFESSEUR
EXAMINATRICE :	MADAME MERZOUK AMEL,	M.C.A.
ENCADRENTE :	MADAME LOUKIDI BOUCHRA,	PROFESSEUR

Année universitaire : 2024 – 2025

Remerciement

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à **Madame LOUKIDI Bouchra**, mon encadrante, pour sa disponibilité, son accompagnement constant et ses précieux conseils tout au long de la réalisation de ce travail. Sa bienveillance et sa rigueur scientifique ont grandement contribué à la réussite de ce mémoire.

Mes sincères remerciements vont également à Mademoiselle **AHMED AMMAR Malek**, ma co-encadrante, pour son aide, ses orientations pertinentes et ses encouragements tout au long de cette étude.

Je souhaite remercier ma mère pour son soutien indéfectible, son amour et sa patience, qui ont été une source inestimable de motivation dans les moments les plus difficiles.

J'adresse également mes remerciements les plus sincères à mon père pour son appui constant, ses conseils avisés et sa confiance, qui m'ont permis d'avancer avec persévérance dans la rédaction de ce mémoire.

Je n'oublie pas mes amis et camarades de promotion, avec qui j'ai partagé des moments inoubliables, d'entraide et de convivialité. Ces années resteront gravées dans ma mémoire grâce aux liens d'amitié sincères que nous avons tissés.

Enfin, j'exprime toute ma reconnaissance à toutes les personnes, de près ou de loin, qui ont contribué à la réussite de ce travail.

Résumé

Le présent travail s'inscrit dans une approche de valorisation intégrale du safran (*Crocus sativus* L.), en mettant particulièrement l'accent sur l'étude des pétales, sous-produit souvent négligé mais riche en composés bioactifs d'intérêt pharmacologique. L'objectif principal a consisté à caractériser la composition phytochimique des extraits issus des pétales et à évaluer leurs activités biologiques antioxydantes et anti-inflammatoires. Les pétales, récoltés dans la région de Tlemcen, ont été séchés, broyés puis soumis à différentes techniques d'extraction : macération (aqueuse, hydroéthanolique, hydrométhanolique) et extraction assistée par ultrasons. L'efficacité des procédés a été estimée par le calcul des rendements et la quantification des métabolites secondaires. Les tests biologiques effectués, à savoir le test DPPH pour l'activité antioxydante et le test d'inhibition de la dénaturation de la BSA pour l'activité anti-inflammatoire, ont mis en évidence la supériorité de l'extrait hydroéthanolique. Ce dernier présente une activité antioxydante comparable, voire supérieure à celle de l'acide ascorbique, ainsi qu'un effet anti-inflammatoire significatif proche de celui du diclofénac. Ces résultats s'expliquent par la richesse des extraits en polyphénols, flavonoïdes et caroténoïdes. En conclusion, les pétales de *Crocus sativus* L. constituent une ressource naturelle prometteuse pour le développement de compléments nutraceutiques et pharmaceutiques, contribuant à une exploitation durable des ressources végétales et à la valorisation des coproduits agricoles.

Abstract

This research aims to enhance the valorization of saffron (*Crocus sativus L.*) by focusing on its petals, an often-overlooked by-product despite their abundance in pharmacologically active biomolecules. The main objective was to characterize the phytochemical composition of petal extracts and to evaluate their antioxidant and anti-inflammatory activities. Petals collected from the Tlemcen region (Algeria) were dried, ground, and subjected to different extraction methods, including maceration (aqueous, hydroethanolic, hydromethanolic) and ultrasound-assisted extraction. Extraction efficiency was assessed through yield calculation and quantification of secondary metabolites. Antioxidant activity was evaluated using the DPPH radical scavenging assay, while anti-inflammatory potential was measured by the inhibition of bovine serum albumin (BSA) denaturation. Results revealed that the hydroethanolic extract exhibited the most potent biological activity, with antioxidant efficacy comparable to or exceeding that of ascorbic acid, and a notable anti-inflammatory effect similar to diclofenac. These bioactivities are mainly attributed to the high content of polyphenols, flavonoids, and carotenoids. Overall, the findings demonstrate that saffron petals are a valuable natural source of bioactive compounds with promising nutraceutical and pharmaceutical potential, reinforcing their role in sustainable biovalorization strategies and the circular economy of plant-based resources.

الملخص

يهدف هذا البحث إلى تمييز واستغلال النواتج الثانوية لنبات الزعفران (*Crocus sativus L.*) ، لا سيما بتلاته التي تُعدّ مصدرًا غنيًا بالمركّبات الحيوية الفعّالة ذات القيمة الدوائية العالية، رغم إهمالها في الاستخدام الصناعي. تمحور الهدف الرئيسي حول توصيف التركيب الكيميائي النباتي لمستخلصات البتلات، وتقييم فعاليتها المضادة للأكسدة والمضادة للالتهاب. جُمعت البتلات من منطقة تلمسان بالجزائر، ثم جُفّفت وطُحنت وخضعت لعمليات استخلاص مختلفة شملت النقع المائي، الإيثانولي المائي، والمثانولي المائي، إضافة إلى الاستخلاص بالموجات فوق الصوتية. تمّ تقييم كفاءة الاستخلاص من خلال حساب المردود وتحديد المركّبات الثانوية. أُجريت اختبارات النشاط الحيوي باستخدام اختبار DPPH لتحديد النشاط المضاد للأكسدة، واختبار تثبيط دنتره الألبومين البقري (BSA) لتقدير النشاط المضاد للالتهاب. أظهرت النتائج تفوق المستخلص الإيثانولي المائي من حيث النشاطين معًا، حيث كانت فعاليته المضادة للأكسدة ممتثلة أو تفوق فيتامين C ، وفعاليتها المضادة للالتهاب قريبة من تأثير الديكلوفيناك. تُعزى هذه الأنشطة إلى وفرة البوليفينولات والفلافونويدات والكاروتينات في المستخلصات. تؤكد هذه النتائج أنّ بتلات الزعفران تمثل مصدرًا طبيعيًا واعدًا لإنتاج مركّبات نشطة حيويًا قابلة للاستعمال في الصناعات الغذائية، الدوائية والتجميلية، في إطار نهج علمي مستدام للحفاظ على الموارد الطبيعية.

Liste des abréviations

Abréviation	Définition
<i>Crocus sativus</i> <i>L.</i>	Nom botanique du safran
BSA	Bovine SerumAlbumin (Albumine sérique bovine)
DPPH	2,2-Diphényl-1-picrylhydrazyle
HE	Extrait hydroéthanolique
EtOH	Éthanol
MeOH	Méthanol
aq	Aqueux
UV	Ultraviolet
ISO	International Organization for Standardization
%	Pourcentage
°C	Degré Celsius
nm	Nanomètre
mg/mL	Milligrammeparmillilitre
g	Gramme
HPLC	High Performance Liquid Chromatography (Chromatographieliquide haute performance)
TLC	Thin Layer Chromatography (Chromatographie sur couche mince)
DMSO	Diméthylsulfoxyde
IC ₅₀	Concentration inhibitrice à 50 %
SD	Standard Deviation (Écart type)
ROS	ReactiveOxygenSpecies (Espèces réactives de l'oxygène)
NF-κB	Nuclear Factor-kappa B
MAPK	Mitogen-Activated Protein Kinase
ANOVA	Analysis of Variance (Analyse de la variance)
RH	Relative Humidity (Humidité relative)

Abréviation	Définition
ppm	Partie par million
pH	Potentielhydrogène
cm³	Centimètre cube
v/v	Volume sur volume
w/w	Poids sur poids
WHO	World Health Organization (Organisation mondiale de la santé)
GC-MS	Gas Chromatography–Mass Spectrometry (Chromatographie en phase gazeuse–Spectrométrie de masse)
IR	Infrared (Infrarouge)
R%	Rendement d'extraction
NaCl	Chlorure de sodium
COX-2	Cyclooxygenase-2
TNF-α	Tumor Necrosis Factor Alpha
IL-6	Interleukin 6
DMSO	Diméthylsulfoxyde
λ	Longueur d'onde
$\mu\text{g/mL}$	Microgramme par millilitre

Table de Matières

Remerciement.....	I
Résumé.....	II
Abstract.....	III
Liste des abréviations.....	V
Table de Matières.....	VII
Liste des Figures.....	IX
Introduction Générale.....	1

Chapitre I : Généralités sur Le Safran

Généralités sur Le safran.....	4
1. Historique.....	4
Origine.....	6
Étude botanique de la plante	7
Cycle biologique :	10
Partie de la plante utilisée.....	11
Culture du safran	11
Utilisation et conditions de culture du safran.....	12
Le safran comme teinture et peinture	13
Le safran en cuisine.....	14
Le safran en cosmétique.....	15
Le safran en thérapeutique	15
Activité anticancer et antitumorale	16
Stress oxydatif.....	16
Effets antinociceptifs et anti-inflammatoires	17
Principaux composants du safran :	17

Chapitre II : Matériel et Méthodes

1. Matériel.....	20
2. Matière végétale :	20
3. Délipidation de la matière végétale (Crocus sativus) :	21
4. Préparation des extraits :	22
5. Les TEST :	25

Chapitre III : Résultats et Discussion

Comparaison des résultats du mémoire avec les articles scientifiques :	34
1. Activité antioxydante (Test DPPH)	34
A. Supériorité de l'extrait hydroéthanolique (HE)	34
B. Puissance antioxydante	34
2. Activité anti-inflammatoire (Inhibition de la dénaturation de la BSA).....	34
A. Démonstration et mécanisme d'action	34
3. Comparaison des méthodes d'extraction (Ultrasons vs. Macération).....	35
Conclusion Générale.....	37
Références Bibliographiques.....	39

Liste des Figures

Figure 1: Étapes de l'obtention de l'épice du safran (<i>Crocus sativus</i> L.) (adapté de Melnyk et al., 2010).	7
Figure 2 : <i>Crocus Sativus</i> L	7
Figure 3: Schéma morphologique du <i>Crocus sativus</i> L. (Arvy&Gallouin, 2003).	9
Figure 4: page du papyrus d'Ebers(NLM(NationalLibraryof Médecine 2015).	12
Figure 5: Le jaune du safran illumine ce tapis d'Anatolie centrale(cardon D, 2003)	13
Figure 6: le safran dans la cuisine (Palomares C, 2015).	14
Figure 7: L'image montre une gamme de produits cosmétiques de la marque "Kesari"	15
Figure 8: Le gel lavant doux Saforelle Bébé (Parashop Tunisie)	15
Figure 9: pétales du safran frais (Photo prise au laboratoire).	21
Figure 10: L'extraction des polysaccharides avec la technique Ultrason (photo prise au laboratoire)	24
Figure 11: Délipidation de la matière végétale par HEXANE.....	25



Introduction Générale

Introduction Générale

Les plantes jouent un rôle crucial dans la vie humaine en fournissant des substances actives renouvelables et abondantes utilisées dans divers secteurs, notamment l'alimentation, la pharmacie et la médecine. Leur importance est également reconnue pour leurs multiples propriétés biologiques (B. Teixeira et al., 2012). L'usage croissant des plantes au quotidien, combiné au coût élevé de certaines, engendre un déséquilibre sur le marché des produits naturels. La garantie d'une qualité authentique passe par l'absence de toute forme d'adultération, c'est-à-dire l'absence d'impuretés. On estime que près de la moitié des médicaments modernes sont issus de la recherche sur les plantes, et un quart contient des extraits ou des molécules actives directement d'origine végétale (Newman & Cragg, 2016).

Le terme « safran » fait référence à la plante *Crocus sativus* L. ainsi qu'au produit obtenu à partir du pistil de cette plante (Dubois A., 2015). Ce mot trouve son origine dans l'arabe « Zaafrane ». Son étymologie latine vient de « safranum », dérivé de l'arabo-persan « za'faran », lequel provient d'« asfar », signifiant jaune (Crozet et al., 2012). Bien que les mots *Crocus sativus* et safran proviennent d'étymologies différentes, ils désignent le même produit. En effet, « *Crocus sativus* », nom scientifique donné par Linné en 1754, est une adaptation latinisée du terme grec « krokos », qui signifie filament ou poil, en référence à la forme des stigmates qui, après séchage, produisent cette épice précieuse (Aucante, 2000).

Depuis des millénaires, le safran est utilisé à des fins médicinales. Les anciens Égyptiens l'employaient pour traiter les intoxications et améliorer la digestion, tandis que la médecine traditionnelle persane l'utilisait comme antidépresseur. Au Moyen Âge, il fut prescrit pour soigner diverses affections telles que le rhume, les troubles digestifs et la toux (Giorgi et al., 2015).

Le safran peut être cultivé à différentes altitudes car le *Crocus sativus* présente des exigences similaires à celles de la vigne. Il s'adapte aussi bien aux climats méditerranéens qu'aux climats continentaux, préférant les étés chauds et secs ainsi que les hivers frais (Gelsin, 2002). L'Europe a toujours joué un rôle central dans la production et la distribution mondiale du safran, qui est exporté à travers le continent et jusqu'en Inde, souvent en échange d'autres épices. Depuis les années 2000, l'intérêt pour cette épice a connu un renouveau (Abdallah Bebah & Allal, 2017).

La question centrale de cette étude est : quels critères permettent de garantir la qualité du safran et quelle méthode d'extraction la plus favorables, pour assurer une production optimale en termes de quantité et de qualité ?

Pour répondre à cette interrogation, nous avons effectué une étude bibliographique ainsi qu'une analyse des travaux antérieurs, afin d'évaluer les protocoles utilisés et les résultats obtenus. Ce travail s'articule en deux parties : la première expose des généralités, tandis que la seconde comprend deux chapitres, l'un consacré au matériel et aux méthodes, l'autre aux résultats et à la discussion. Enfin, une synthèse finale conclut cette étude.

A decorative scroll graphic with a black outline and a light gray shadow, containing the chapter title and subtitle. The scroll is positioned in the center of the page and has a classic rolled-up appearance with curved ends.

Chapitre I

Généralités sur Le Safran

Généralités sur Le safran**1. Historique**

L'histoire du safran, une épice issue de la fleur du *Crocus sativus*, remonte à la plus haute Antiquité. Des auteurs anciens comme Homère, Salomon, Pline et Virgile évoquaient déjà cette plante, considérée comme sacrée. La plus ancienne représentation connue date de 1600-1700 avant notre ère, retrouvée sur une fresque dans le palais de Minos en Crète, où l'on voit des personnages en train de cueillir du safran (Algrech, 2001).

Le nom du genre « *Crocus* » dérive du grec « *Krokos* », signifiant « filament », en référence aux stigmates de la plante. Le qualificatif « *sativus* » signifie « cultivé », car cette variété de *Crocus*, stérile, ne se reproduit que par multiplication végétative, nécessitant une intervention humaine (Dupont, 2001 ; Abdullaev, 2002). Chaque fleur porte trois stigmates, mesurant plusieurs centimètres.

Originaire de l'est du Bassin méditerranéen, le safran fut introduit en Europe à partir du Moyen Âge via le monde arabo-musulman. Aujourd'hui, la production mondiale est dominée par l'Iran et le Cachemire, avec environ 80 tonnes produites chaque année, tandis que la France, notamment sous l'appellation « Safran du Gâtinais », maintient une production locale. Le safran a longtemps été l'épice la plus précieuse, pouvant atteindre des prix jusqu'à 30 000 euros le kilo (Moussaoui, 2014). Il faut près de 75 000 fleurs ou 225 000 stigmates récoltés à la main pour obtenir une livre de safran, ce qui explique en partie son coût élevé (Aytekin&Acikgoz, 2008).

Depuis plus de trois millénaires, le safran est valorisé en médecine traditionnelle dans diverses cultures, notamment en Ayurveda, en Mongolie, en Chine, en Égypte, en Grèce et dans les pays arabes. Les premiers textes médicaux connus datent de l'Égypte ancienne, vers 1550 avant J.-C., avec le papyrus d'Ebers recensant plus de 700 substances végétales, parmi lesquelles le safran est reconnu pour ses propriétés stimulantes, euphorisantes, digestives et antispasmodiques (Lazérat&Souny, 2009).

Le safran apparaît aussi dans des documents botaniques assyriens du VII^e siècle avant J.-C., sous le règne d'Assurbanipal. Depuis plus de 4 000 ans, son emploi est documenté dans le traitement d'environ 90 maladies (W. H. Honan, 2004). Sa diffusion s'est étendue

progressivement à travers l'Eurasie, atteignant par la suite l'Afrique du Nord, l'Amérique du Nord et l'Océanie. En France, la culture du safran a été importante pendant plus de cinq siècles, en particulier dans la région du Gâtinais (Gérard Boutet, 1991).

Présent dans de nombreuses civilisations, le safran possède une histoire riche d'au moins 5 000 ans. L'empereur chinois Chen Nong mentionne ses propriétés médicinales dans le ShennongBencao Jing, un texte datant de 2700 av. J.-C. (W. H. Honan). Cette épice est originaire des hautes vallées du Cachemire et des plateaux de Perse, avant de se diffuser grâce à sa valeur commerciale. Utilisé par les Égyptiens et les Hébreux pour parfumer et colorer les aliments lors de cérémonies religieuses, le safran fut transmis aux Grecs et Romains, qui l'utilisaient en cuisine, en parfumerie, en teinture, en pharmacopée et dans certains rites religieux (Cardon, 2003). En Inde, son usage perdure encore aujourd'hui. En Sicile et en Italie, sa culture remonte à l'époque romaine. Au IXe siècle, les Arabes l'introduisirent en Afrique du Nord puis en Espagne musulmane.

Le prix élevé du safran s'explique par la délicatesse de la récolte manuelle des stigmates, seules parties aromatiques de la fleur. De plus, une grande quantité de fleurs est nécessaire pour obtenir une quantité commerciale. Par exemple, une livre de safran sec (environ 0,45 kg) nécessite la cueillette d'environ 50 000 fleurs, ce qui correspond à une surface de culture proche d'un terrain de football (T. Hill). D'autres sources évoquent jusqu'à 75 000 fleurs pour la même quantité (S. R. Rau), ce nombre variant selon la taille des stigmates propre à chaque variété. La courte période de floraison constitue également un défi important. La production d'un kilogramme de safran sec demande la récolte de 150 000 fleurs et environ 400 heures de travail intensif. Au Cachemire, des milliers de cultivateurs travaillent sans relâche pendant une à deux semaines pour finaliser la récolte (D. Lak, 1998).

Nom commune

Région	Noms
Arabe	Azzaàfaranene(الزعفران) AzzaàfaraneAlhor (الحرالزعفران) AzzaàfaraneChaàra (الشعرةالزعفران)
Français	Safran, safran cultivé, safran de Gâtinais
Anglais	Saffron

Tableau 01 : Noms communs du safran (J Melnyket *al.*, 2010) (S Rahmouni& S Reghis, 2016)

Carte d'identité

- **Famille:** IRIDACEE.
- **Sous-famille :** Crocoïdeae.
- **Genre:** Crocus .
- **Nom botanique:** Crocus Sativus.
- **Nom commun:** Safran.
- **Surnom:** l'Or rouge .
- **Autres :** plante à bulbe .
- **Partie de plante récoltée :** stigmate (trois stigmates rouges foncés) .
- **Qualité :** plus la couleur rouge est foncée, plus le Safran est de meilleure qualité .
- **Période de récolte :** automne (floraison à l'automne: les feuilles poussent après la fleur) .
- **Durée de floraison :** 1 à semaines selon les régions de production .
- **Durée totale de culture :** de 5 ans à 10 ans.

Le Safran est classé selon la norme internationale **ISO 3632** qui évalue la concentration en Crocine (couleur), Picrocrocine (goût) et Safranal (parfum)(**Web master 01**)

Origine

Le safran est une épice tirée de la fleur d'un crocus à teinte lilas ou pourpre, le *Crocus sativus* L., une plante vivace qui fleurit à l'automne et appartient à la famille des Iridacées. Cette espèce ne pousse pas à l'état sauvage. L'épice est obtenue par séchage des trois stigmates rouges présents dans la fleur. Ces stigmates, ainsi que le style, sont couramment utilisés en cuisine, à la fois comme aromate et comme colorant (Talbi L. et Medjabar W., 2017).

L'origine du safran fait l'objet de plusieurs hypothèses. Sa domestication et sélection initiales auraient eu lieu sur l'île de Crète, à la fin de l'âge du bronze. Par la suite, le safran s'est étendu vers l'Inde, la Chine et le Moyen-Orient. Dans une seconde phase de diffusion, les Arabes ont largement contribué à sa propagation dans tout le bassin méditerranéen, notamment au Maroc, où la culture du safran daterait probablement du IXe siècle (Gresta et al., 2007 ; Laga et al., 2007).

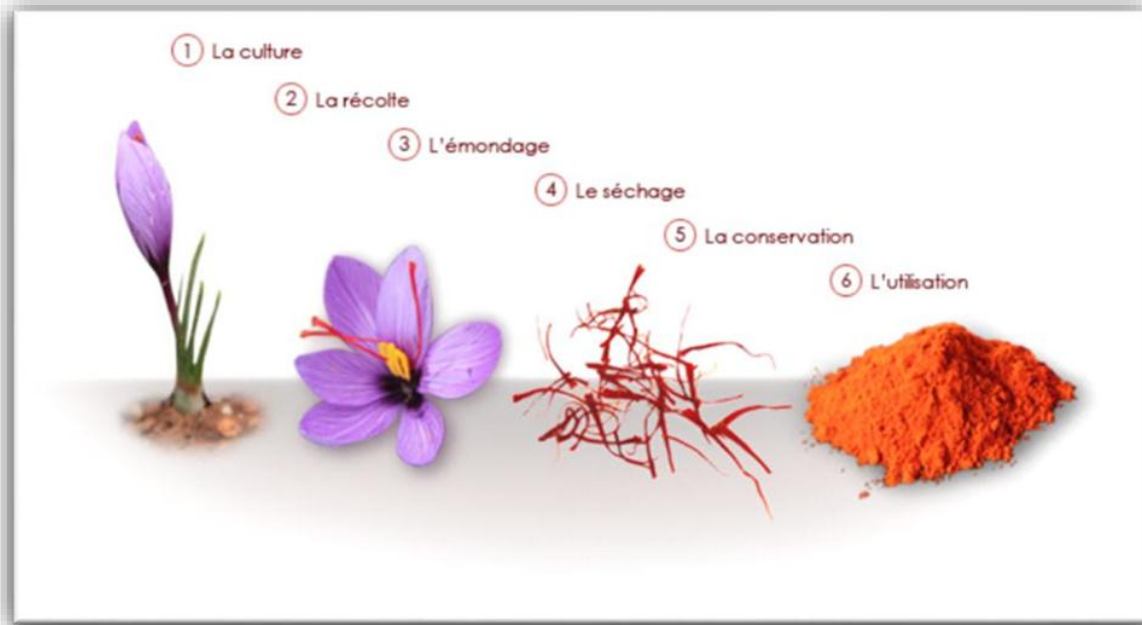


Figure 1: Étapes de l'obtention de l'épice du safran

Étude botanique de la plante

- **Classification**

Crocus sativus L. est l'unique espèce du genre *Crocus* qui produit le safran. Cette plante fait partie de la vaste famille des Iridacées et appartient au genre *Crocus*, qui regroupe plus de 80 espèces de petites plantes bulbeuses (Chahine, 2014). D'après Saxena (2010) et Srivastava et al. (2010), la classification taxonomique de *Crocus sativus* s'articule comme suit :

- Royaume : Plantae
- Division : Spermatophyte
- Sous-division : Angiosperme
- Classe : Monocotylédone
- Sous-classe : Liliidae



Figure 2 : *Crocus Sativus L*

- Ordre : Liliales
- (Weckerle B et al, 2003)
- Famille : Iridaceae
- Genre : *Crocus*
- Espèce : *Crocus sativus*

La classification phylogénétique du safran, établie par l'AngiospermsPhylogeny Group (APG III), repose sur une analyse moléculaire qui utilise plusieurs gènes chloroplastiques ainsi qu'un gène nucléaire lié au ribosome. D'après ce système, *Crocus sativus* appartient à l'ordre des Asparagales, à la famille des Iridacées, au genre *Crocus*, et à l'espèce *sativus* L.

La famille des Iridacées regroupe environ 1 800 espèces, comprenant notamment les iris, les glaïeuls et les crocus. Ces plantes partagent des traits morphologiques communs, tels qu'un ovaire infère et un androcée composé de trois étamines arrangées en un seul cercle (13).

Le genre *Crocus* compte environ 85 espèces, parmi lesquelles le safran se distingue particulièrement. On peut classer ces espèces en deux groupes selon leur période de floraison : les crocus d'automne, comme *Crocus sativus* L., et les crocus de printemps, tels que *Crocus vernus* L.

Description de la plante :

- Aspect général :

Crocus sativus est une plante qui n'existe pas à l'état sauvage et dépend entièrement de l'intervention humaine pour sa survie. Cette espèce triploïde et stérile se reproduit exclusivement par multiplication végétative via son corme, un organe de réserve analogue à un bulbe (Arvy&Gallouin, 2003).

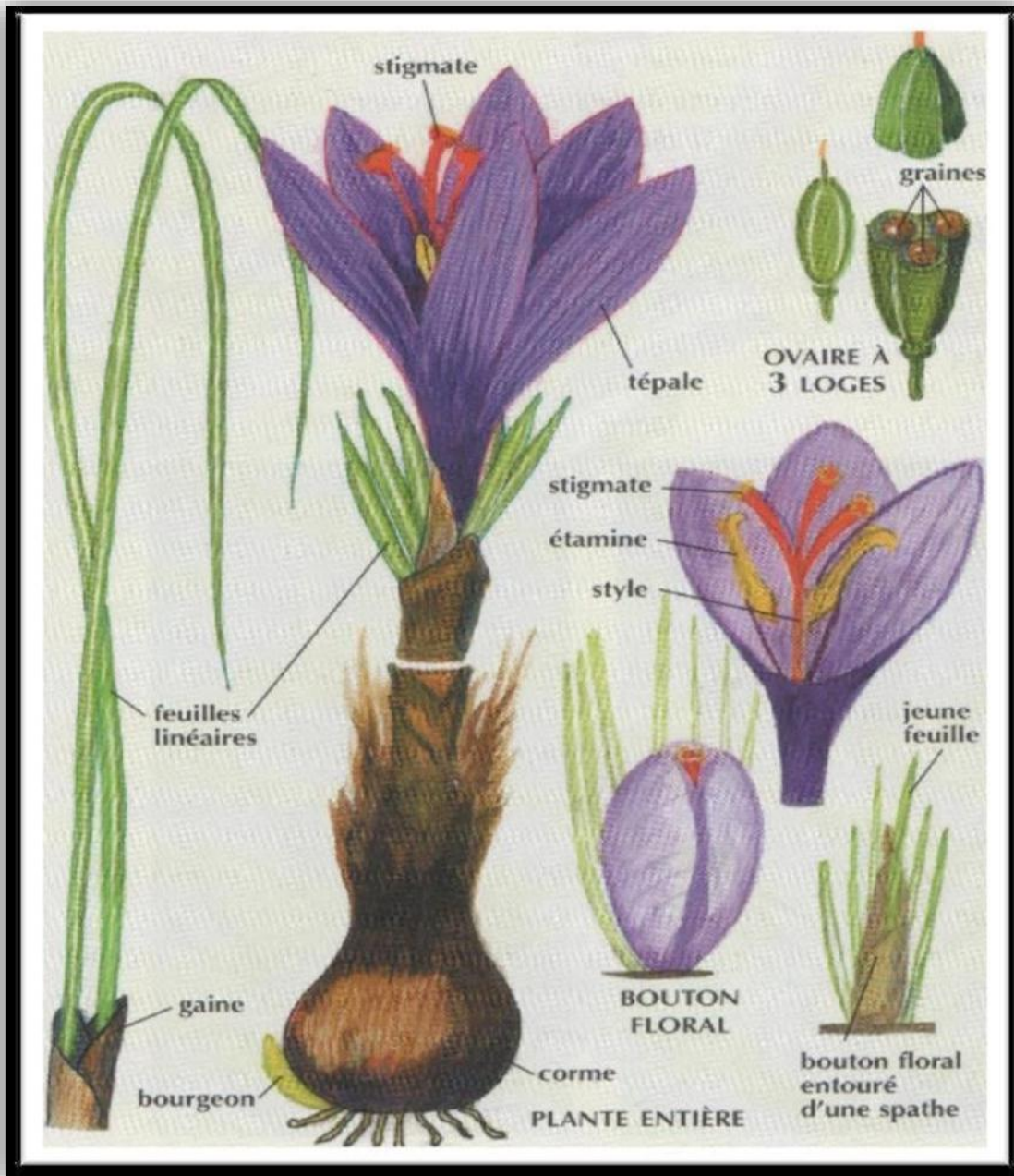


Figure 3: Schéma morphologique du *Crocus sativus* L.

Crocus sativus est une plante monocotylédone, herbacée, vivace et pérenne, qui fleurit en automne et ne se trouve pas à l'état sauvage. Grâce à ses caractéristiques morphologiques et physiologiques, cette plante rustique peut atteindre une hauteur comprise entre 10 et 25 cm.

La fleur, de teinte mauve, se compose de six pétales, trois étamines jaunes et un pistil divisé en trois stigmates rouge vif, brillants et veloutés, mesurant entre 3 et 4 cm. Lors de l'ouverture, les

stigmates apparaissent brillants, fins à la base et plus larges vers l'extrémité. Ces stigmates, très parfumés, constituent le safran commercialisé une fois séchés.

(Fernández, 2004 ; Negbi, 1999).

Les feuilles, au nombre de cinq à onze par bourgeon, poussent simultanément ou après la floraison. Le développement de la plante s'appuie sur ses bulbes, appelés cornes, d'un diamètre de 3 à 5 cm, qui servent de réservoirs de substances nécessaires à la floraison et au bourgeonnement.

Le pollen produit par le safran est stérile et la fleur ne génère pas de graines viables. Par conséquent, la reproduction se fait uniquement par multiplication végétative via les cornes, ce qui rend la plante dépendante de l'intervention humaine. Un bulbe donne naissance à une à trois fleurs, et une plante comporte généralement deux à trois bulbes . (Winterhalter & Straubinger, 2000).

Cycle biologique :

- **Période végétative** : Après la floraison automnale, cette phase se caractérise par une croissance lente des racines, des feuilles et des bulbes secondaires autour du bulbe principal. Cette étape, qui dure environ cinq mois, nécessite des températures relativement basses.
- **Période reproductrice** : Généralement observée en mars, cette période est marquée par une intensification de l'activité cellulaire, incluant la division et la différenciation, ainsi qu'une augmentation du métabolisme de la plante.
- **Période de dormance** : À partir d'avril, les nouveaux bulbes sont entièrement formés et les feuilles commencent à faner. L'arrivée des températures élevées entraîne un ralentissement progressif, puis un arrêt quasi complet de l'activité métabolique.
- **Floraison** : Dès septembre, la plante reprend son activité métabolique. Les feuilles ainsi que les primordia floraux se développent jusqu'à la floraison, qui se produit entre octobre et novembre. Cette période est régulée par des facteurs environnementaux, tels que la durée du jour et les précipitations (Ait Oubahou & El Otmani, 2002).

Partie de la plante utilisée

Les pétales de la fleur de *Crocus sativus* sont de plus en plus étudiés et valorisés dans divers secteurs. Caractérisés par une couleur violette intense et un parfum floral délicat, ces pétales étaient longtemps considérés comme des sous-produits de la culture du safran. Aujourd'hui, ils sont reconnus comme une source précieuse de molécules bioactives, notamment des anthocyanes, des flavonoïdes et des composés phénoliques, qui leur confèrent des propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires (Palomares C., 2015).

Chaque fleur produit six pétales, générant une biomasse bien plus importante que celle des stigmates. Ainsi, pour une quantité donnée de safran, une grande quantité de pétales est disponible, offrant des perspectives intéressantes pour des valorisations économiques et scientifiques. Leur richesse en pigments naturels les rend utilisables dans les industries pharmaceutique, cosmétique et agroalimentaire. De plus, plus la coloration des pétales est intense et uniforme, plus leur teneur en composés actifs est élevée, ce qui augmente leur valeur en tant que matière première (Arvy M., Gallouin F., 2014).

Culture du safran

Le *Crocus sativus* présente un cycle végétatif inversé : ses feuilles apparaissent en septembre, la plante fleurit en octobre, puis se dessèche au mois de mai de l'année suivante. Ainsi, alors que la majorité des plantes entrent en dormance hivernale à l'automne, le safran est en pleine floraison. Au printemps, la plante entre en dormance complète, son feuillage disparaissant au moment même où les bourgeons des autres végétaux commencent à éclore (Douglas & Perry, 2003).

L'espèce cultivée est exclusivement *Crocus sativus*, et à ce jour, aucune variété sélectionnée n'a été développée. La qualité du matériel végétal de départ dépend principalement de la taille et de la santé des bulbes. Pour garantir une bonne production dès la première année, il est conseillé d'utiliser des bulbes de gros calibre, entre 5 et 8 cm de diamètre. Les bulbes plus petits, appelés bulbilles, ne fleuriront qu'à partir des années suivantes. (Negbi, 1999).

Le choix de l'emplacement est déterminant. Le sol doit être léger, bien drainé, aéré, pauvre en minéraux mais riche en matière organique, avec un pH idéal situé entre 6,5 et 7. Il doit rester frais et humide, et être de nature silico-calcaire ou argilo-calcaire, fertile et suffisamment

profond. Il est également essentiel que le sol soit sain, sans fumier frais ni débris végétaux récemment enfouis. (Fernández, 2004; Greinwald&Kafi, 2006).

Utilisation et conditions de culture du safran

Les principaux facteurs limitants pour la culture du safran sont l'excès d'eau et les sols imperméables. L'emplacement idéal doit être orienté vers le sud ou le sud-est, à l'abri de l'ombre des arbres à feuilles persistantes ou des constructions, car la plante nécessite une bonne exposition lumineuse pour assurer un développement optimal. (Fernández, 2007; Kafi et al., 2006)

Le safran est une plante dite de jours courts, capable de s'adapter à des conditions climatiques difficiles. Elle supporte des hivers froids et des étés chauds et secs, résistant à des températures pouvant descendre en dessous de -10 °C ou s'élever au-dessus de +40 °C pendant plusieurs jours (Molina et al., 2005).

La culture se pratique habituellement en altitude, entre 650 et 1200 mètres. Le *Crocus sativus* préfère un climat méditerranéen continental, caractérisé par des hivers frais et des étés chauds et secs, ainsi qu'une exposition en plein soleil. (Fernández, 2004; Negbi, 1999)

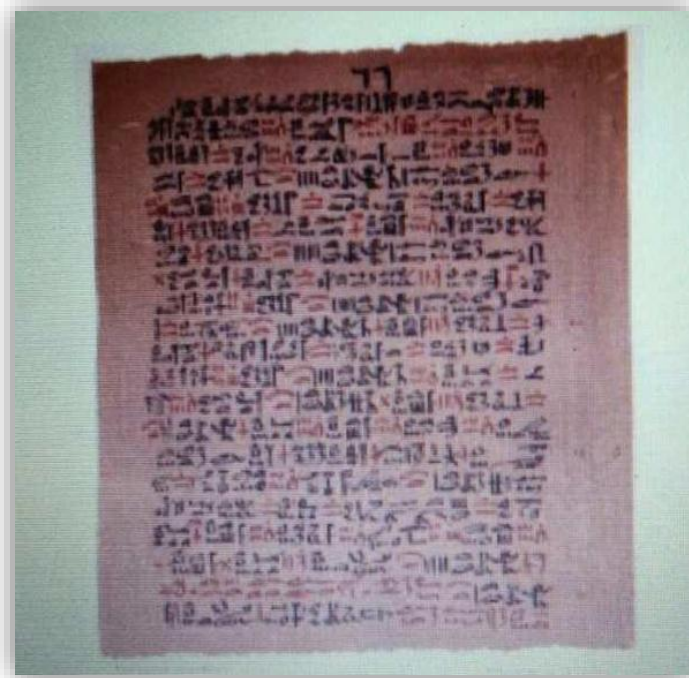


Figure 4: page du papyrus d'Ebers

Le safran comme teinture et peinture

Les stigmates du safran contiennent un colorant jaune soluble dans l'eau, doté d'un pouvoir tinctorial très puissant. En effet, une petite quantité de safran peut teindre en jaune jusqu'à 100 000 volumes d'eau. Pour illustrer, un gramme de safran permet de colorer en jaune environ 200 litres d'eau, soit la capacité d'une baignoire. (Winterhalter & Straubinger, 2000

Ce pouvoir colorant exceptionnel est principalement attribué à la crocine, répertoriée sous le numéro 75100 dans le Colour Index. Cette molécule, accompagnée de faibles quantités de caroténoïdes sous forme libre, correspond au jaune naturel numéro 6 dans cet index. (Carmona et al., 2007)

La teinture obtenue est dite directe, ce qui signifie que les fibres sont immergées directement dans la solution colorante. Une simple décoction des stigmates suffit pour teindre rapidement la laine, la soie et les fibres végétales en nuances d'orange ou de jaune vif. Plus la concentration en colorant est élevée, plus la teinture présente une bonne résistance à la lumière et au rayonnement solaire (Cardon D., 2003).



Figure 5: *Le jaune du safran illumine ce tapis d'Anatolie centrale*

Le safran en cosmétique

Depuis l'Antiquité, le safran est employé en cosmétologie. Dans de nombreuses régions orientales, il était consommé en infusion ou appliqué directement sur la peau, souvent macéré dans du lait d'ânesse ou mélangé à des corps gras. Cette pratique traditionnelle s'appuie sur ses propriétés antioxydantes, reconnues pour contribuer à maintenir la douceur et la jeunesse de la peau (Palomares C., 2015).



Figure 7: L'image montre une gamme de produits cosmétiques de la marque Kesari"

Le safran en thérapeutique

De nombreuses recherches pharmacologiques ont démontré que le safran et ses principaux composés actifs — la crocine, la crocétine et le safranal — possèdent une large gamme de propriétés bénéfiques. Ces effets incluent des actions antioxydantes, anticancéreuses, anticonvulsivantes, anti-ischémiques, antigénotoxiques, antidotes, antiapoptotiques, antitussives, antidépresseurs, sédatives et hypnotiques, hypolipidémiques, antinociceptives ainsi que des propriétés anti-inflammatoires (Rahimi, 2015).



Figure 8: Le gel lavant doux Saforelle Bébé

Activité anticancer et antitumorale

Les extraits de safran ont révélé des propriétés antitumorales aussi bien in vivo qu'in vitro (Abdullaev&Frenkel, 1992;Escribano et al., 1996; Tavakkol-Afshari et al., 2008; Amin et al., 2011). Ils se sont montrés efficaces contre plusieurs types de cancers, notamment le cancer colorectal (Aung et al., 2007), le cancer hépatocellulaire (Amin et al., 2011) et le cancer de la prostate (D'Alessandro et al., 2013).

Les caroténoïdes contenus dans le safran sont les principaux agents responsables de ces effets. Bien que les mécanismes anticancéreux restent partiellement compris, plusieurs hypothèses sont proposées : induction de l'apoptose, inhibition de la prolifération cellulaire et de la synthèse d'ADN au sein des cellules tumorales, réduction de l'inflammation, diminution du stress oxydatif et stimulation de l'activité des enzymes antioxydantes (Abdullaev, 2002;Bathaie&Mousavi, 2010; Hosseinzadeh&Nassiri-Asl, 2013).

Les extraits de safran sont non toxiques pour les cellules normales, mais exercent une cytotoxicité sélective envers les cellules cancéreuses (Abdullaev, 2001). En outre, le safran possède une activité anti-mutagénique. La crocine, un dérivé du safran, inhibe fortement la formation des colonies tumorales (Abdullaev et al., 2003).

Il a également été prouvé que le traitement par des extraits de *Crocus sativus* augmente significativement la durée de vie des souris traitées à la cisplatine, un anticancéreux classique, prolongeant cette durée jusqu'à près de trois fois (Nair et al., 1991).

Stress oxydatif

Le safran possède des propriétés antioxydantes marquées, notamment par sa capacité à inhiber les réactions en chaîne des radicaux libres. Riche en vitamine B2 et en provitamine A, il est considéré comme l'un des antioxydants naturels les plus efficaces pour lutter contre le vieillissement cellulaire. Les caroténoïdes présents dans le safran jouent un rôle actif dans la protection contre les espèces radicalaires (Serrano-Díaz et al., 2012;Esmaeili et al., 2011; Karimi et al., 2010).

Par ailleurs, plusieurs études ont démontré que le safran protège les cellules cardiaques en renforçant les défenses antioxydantes, notamment face aux lésions provoquées par l'ischémie-reperfusion (Hosseinzadeh et al., 2009;Joukar et al., 2013; Qi et al., 2013), ainsi que dans le

cadre de diverses maladies cardiovasculaires (Kamalipour&Akhondzadeh, 2011; Sachdeva et al., 2012).

Effets antinociceptifs et anti-inflammatoires

Les stigmates de safran, ainsi que les extraits issus de ses pétales, ont montré des propriétés antinociceptives dans des modèles expérimentaux de douleur induite chimiquement. Ils possèdent également une activité anti-inflammatoire, efficace tant dans les formes aiguës que chroniques. Ces effets bénéfiques sont principalement liés à la présence de composés bioactifs tels que les flavonoïdes, les tanins, les anthocyanines, les alcaloïdes et les saponines (Srivastava et al., 2010).

Principaux composants du safran :

Le safran contient une grande variété de composés aromatiques volatils, dépassant les 150, parmi lesquels on retrouve des terpènes, des alcoolsterpènes et des esters. En plus de ces substances volatiles, il possède également des composants actifs non volatils, tels que des caroténoïdes, des flavonoïdes (comme la quercétine et le kaempférol), ainsi que de la zéaxanthine, du lycopène, des bêta-carotènes et des polysaccharides. Parmi les caroténoïdes, on distingue trois métabolites secondaires importants : le crocin et ses dérivés, le picrocrocin, ainsi que le safranal (LiakopoulouKyriakides M &AKyriakidis D., 2002).

- Crocins (C₄₄H₆₄O₂₄) : ce sont des esters glucosidiques de la crocétine, solubles dans l'eau, responsables de la coloration jaune-orangée caractéristique du safran.
- Picrocrocin (C₁₆H₂₆O₇) : il s'agit d'un glycoside qui précède le safranal et confère à l'épice son goût ainsi que son amertume.
- Safranal (C₁₀H₁₄O) : principal composant de l'huile essentielle extraite par distillation, ce monoterpène aldéhydique est responsable de l'arôme et de la saveur du safran (Tarantilis PA., 1995 ; Kanakis CD., 2004 ; Srivastava et al., 2010).

Les pétales de cette plante contiennent des anthocyanes, des glycosides et des flavonoïdes (GilMI&kaber AA., 2002). Le kaempférol glycoside est le flavonol prédominant, représentant environ 84 % de la teneur totale en flavonols chez *Crocus sativus* (Goupy et al., 2013).

Les analyses chimiques des stigmates de *Crocus sativus* ont mis en évidence la présence d'au moins cent-cinquante composés, dont la composition approximative est la suivante :

➤ 10 % d'eau.
➤ 12 % de protéines et d'acides aminés.
➤ 5 % de graisses, - 5 % de minéraux (Mn, Mg, P, Cu, Ca, Zn, Fe,...).
➤ 5 % de fibres brutes
➤ 63 % de sucres incluant l'amidon, les sucres réduits, les pentosanes, les gommes, les pectines et les dextrines.
➤ Des quantités infimes de vitamine B2 (riboflavine) et de vitamine B1 (thiamine).

Néanmoins, la concentration de ces différents composants peut fluctuer selon les conditions de culture ainsi que le pays d'origine du safran (Melnyk J et al., 2010).

Gil MI &Kaber AA. (2002) ont étudié les capacités antioxydantes, ainsi que les teneurs en composés phénoliques, caroténoïdes et vitamine C dans différentes variétés de nectarines, pêches et prunes cultivées en Californie (J Agric Food Chem, 50: 7976-7982).



Chapitre II

Matériel et Méthodes

1. Matériel

Extraction des extraits : Les pétales de safran (*Crocus sativus* L.) ont été soumis à des procédés d'infusion, de macération, ainsi qu'à une extraction assistée par ultrasons afin d'obtenir des extraits bruts pour des analyses ultérieures.

- Analyse phytochimique : La teneur en polyphénols totaux et en flavonoïdes des extraits issus des pétales a été quantifiée.(Frusciante et al., 2024; Slimani & Boukhris, 2025)
- Évaluation de l'activité antioxydante : La capacité des extraits à piéger les radicaux libres a été évaluée à l'aide du test DPPH.(Wali et al., 2020)
- Test de l'activité anti-inflammatoire : L'effet anti-inflammatoire des extraits a été examiné par la méthode de diffusion sur disque en milieu solide.(Naim et al., 2023; Ruggieri & Kakoury, 2023).

2. Matière végétale :

Pour cette étude, les pétales de *Crocus sativus* L. ont été utilisés (voir Figure). La plante a été identifiée et récoltée dans la région d'Ain Fezza, sur le djebel Zaafran, au sein de la commune de Tlemcen. Afin de préserver leur qualité, les pétales ont été protégés contre la lumière et l'humidité. Ils ont ensuite été séchés à température ambiante, à l'air libre, pendant cinq jours, conformément aux protocoles recommandés pour maintenir l'intégrité des composés bioactifs des pétales de safran (Frusciante et al., 2024). Une fois séchés, les pétales ont été broyés en une poudre fine à l'aide d'un moulin de laboratoire. Cette poudre a été stockée dans des flacons hermétiques, à l'abri de la lumière et de l'humidité, jusqu'à leur utilisation ultérieure.



Figure 9: pétales du safran frais

3. Délipidation de la matière végétale (*Crocus sativus*) :

Afin d'enlever les lipides contenus dans la matière végétale et d'optimiser l'extraction des composés bioactifs, une étape de délipidation a été réalisée en utilisant de l'hexane, un solvant non polaire. Cette approche est couramment adoptée pour dégraisser les échantillons végétaux avant l'extraction des substances actives (Gahruie&Goli, 2020).

Matériel utilisé :

- Poudre de pétales de *Crocus sativus*, séchée et broyée au préalable
- Hexane (pureté ≥ 95 %)
- Dispositif Soxhlet ou ballon à reflux avec condenseur
- Filtre papier (thimble) ou système de filtration Büchner
- Verrerie de laboratoire comprenant ballons, béchers et erlenmeyers
- Étuvage à une température comprise entre 40 et 45 °C

❖ Méthode :

Nous avons placé 10 grammes de poudre sèche de *Crocus sativus* dans une cartouche en cellulose (thimble) avant de l'installer dans un appareil Soxhlet. L'extraction a été réalisée avec 200 mL d'hexane pendant 3 à 4 heures en mode reflux, à une température proche de 69 °C, ce qui permet une circulation continue du solvant à travers la matière végétale et favorise une extraction efficace des lipides (Hayyan et al., 2022).

À la fin de ce procédé, la poudre végétale délipidée a été séchée à 40 °C jusqu'à obtention d'un poids constant, une méthode qui préserve les composés bioactifs sensibles à la chaleur (Stelluti et al., 2021). La poudre séchée a ensuite été stockée dans des récipients hermétiques et opaques afin de prévenir toute dégradation liée à l'humidité ou à la lumière (Masala et al., 2024).

❖ **Calcul de la rentabilité :**

On a utilisé l'équation suivante pour évaluer la teneur en lipides, en se basant sur la diminution de poids :

$$\% \text{ Lipides} = ((m_{\text{initial}} - m_{\text{final}}) \div m_{\text{initial}}) \text{ multiplié par } 100$$

- m_{initial} : masse initiale de la matière végétale dépourvue de lipides (g),

- m_{final} : masse consécutive au processus de délipidation et de dessiccation (g).

4. Préparation des extraits :

- **Macération :**

Macération aqueuse

Pour la macération aqueuse, 10 g de pétales séchés et finement pulvérisés de *Crocus sativus* L. ont été placés dans un erlenmeyer contenant 200 mL d'eau distillée. L'extraction s'est déroulée à température ambiante, à l'abri de la lumière, pendant 72 heures, avec une agitation régulière afin de favoriser le transfert des composés solubles dans l'eau. La solution obtenue a ensuite été filtrée à l'aide d'un papier filtre pour recueillir l'extrait aqueux, une méthode qui permet de préserver les composés bioactifs sensibles à la chaleur et à la lumière (Akbari et al., 2020; Samarghandian, Farkhondeh, & Samini, 2017; Valizadeh et al., 2022).

Macération hydroéthanolique (70:30, v/v)

Un échantillon de 10 g de pétales séchés et broyés de *Crocus sativus* L. a été macéré dans 200 mL d'un mélange hydroéthanolique (70 % éthanol / 30 % eau distillée, v/v). La macération a été effectuée à température ambiante, à l'abri de la lumière, pendant 24 heures, avec une agitation périodique afin de favoriser l'extraction des composés bioactifs tels que les flavonoïdes et les caroténoïdes. Le mélange a ensuite été filtré à l'aide d'un papier filtre pour obtenir l'extrait hydroéthanolique, une méthode reconnue pour son efficacité dans l'extraction

des composés phénoliques tout en garantissant leur stabilité (Hosseini et al., 2018; Zahedi et al., 2021; Poma et al., 2012).

Macération hydrométhanolique (70:30, v/v)

Un échantillon de 10 g de pétales séchés et broyés a été mis en macération dans 200 mL d'un mélange hydrométhanolique (70 % méthanol / 30 % eau distillée, v/v).

Le procédé a été conduit à température ambiante, à l'abri de la lumière, pendant 24 heures, avec agitation régulière.

La solution a finalement été filtrée à l'aide d'un papier filtre afin d'obtenir l'extrait hydrométhanolique. (Hosseini et al., 2018; Zahedi et al., 2021; Poma et al., 2012).

Dans les trois cas, le solvant d'extraction a été évaporé sous pression réduite à 37 °C à l'aide d'un évaporateur rotatif. Les extraits secs obtenus ont été pesés afin de calculer le **rendement d'extraction (R %)** selon la formule suivante :

$$R(\%) = (\text{m}_{\text{plante initiale}} / \text{m}_{\text{extrait sec}}) \times 100$$

- **Ultrasons (EAU) :**

1. **Extraction aqueuse (EAU-aq)**

Un échantillon de 10 g de pétales de safran séchés et broyés est placé dans un bécher contenant 200 mL d'eau distillée. Le mélange est soumis à une macération pendant 30 min à une température contrôlée de 37 °C, avec agitation intermittente pour améliorer l'extraction.

À l'issue de la macération, la solution est filtrée à l'aide d'un papier filtre .

Le filtrat obtenu est ensuite concentré par lyophilisation, permettant d'obtenir un extrait aqueux sec.

2. **Extraction éthanolique (70 % EtOH / 30 % H₂O)**

Un échantillon de 10 g de pétales de safran séchés et broyés est placé dans un bécher contenant 200 mL d'une solution composée de 70 % d'éthanol et 30 % d'eau distillée. La macération se déroule à 37 °C pendant 30 min , avec agitation intermittente pour optimiser l'extraction.

À l'issue de cette période, le mélange est filtré à l'aide d'un papier filtre Whatman n°1.

Le filtrat est ensuite concentré sous pression réduite à l'aide d'un évaporateur rotatif maintenu à 37 °C, puis séché afin d'obtenir l'extrait éthanolique brut.

3. Extraction méthanolique (70 % MeOH / 30 % H₂O)

Un échantillon de 10 g de pétales de safran séchés et broyés est placé dans un bécher contenant 200 mL d'un solvant méthanolique composé de 70 % de méthanol et 30 % d'eau distillée. La macération est réalisée à 37 °C pendant 30 min , avec agitation intermittente pour maximiser l'extraction des composés actifs.

À l'issue de cette étape, le mélange est filtré à l'aide d'un papier filtre Whatman n°1. Le filtrat est ensuite concentré sous pression réduite à l'aide d'un évaporateur rotatif maintenu à 37 °C, puis séché afin d'obtenir l'extrait méthanolique brut, qui est conservé à l'abri de l'humidité et de la lumière.

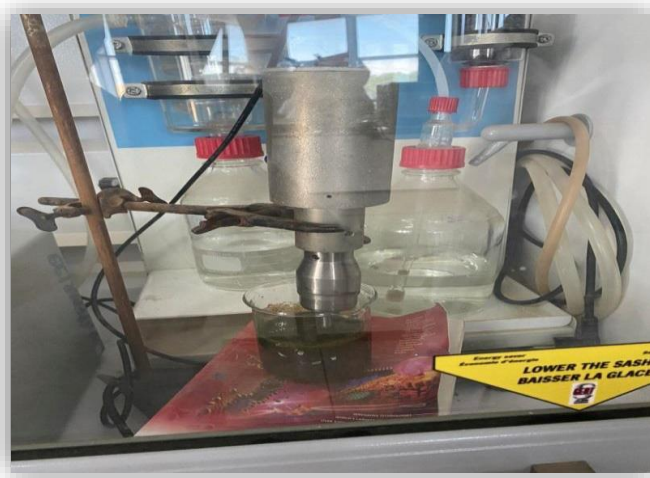


Figure 10: L'extraction des polysaccharides avec la technique

- **Calcul du rendement d'extraction :**

Dans les trois cas, le rendement d'extraction a été calculé selon la formule suivante :

$$R(\%) = (m_{\text{plante initiale}} / m_{\text{extrait sec}}) \times 100$$

- **$m_{\text{extrait sec}}$ = masse de l'extrait sec (g)**
- **$m_{\text{plante initiale}}$ = masse de la plante initiale utilisée (g)**

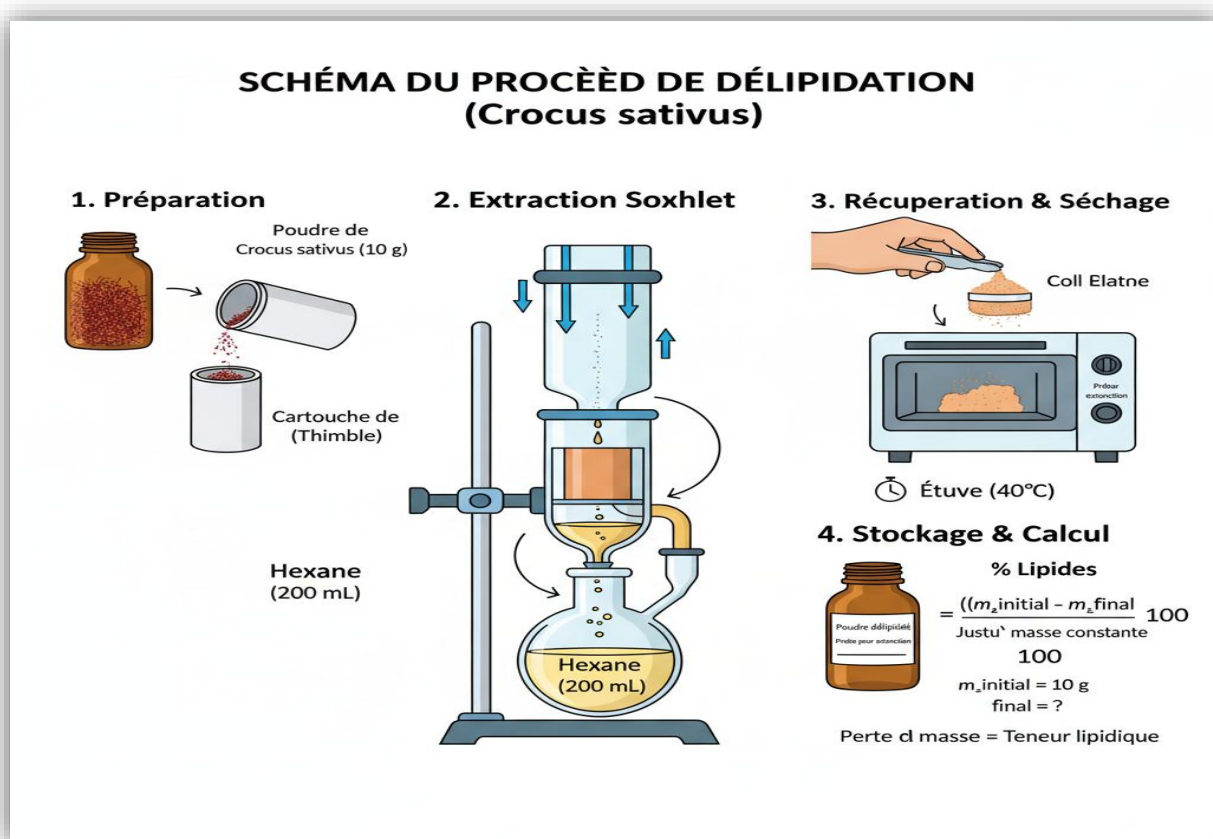


Figure 11: Délipidation de la matière végétale par HEXANE

5. Les TEST :

1. Test antioxydant – DPPH

Le test au DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle) est une méthode de référence pour évaluer l'activité antioxydante des extraits végétaux. Il repose sur la capacité des composés antioxydants à neutraliser le radical libre stable DPPH•, qui se caractérise par une coloration violette en solution méthanolique. Lorsqu'un antioxydant réagit avec ce radical, il lui cède un électron ou un atome d'hydrogène, transformant le DPPH• en une molécule stable jaunâtre. Ce changement de couleur est suivi par spectrophotométrie à 517 nm. La diminution progressive de l'absorbance reflète la capacité de l'extrait à piéger les radicaux libres. Ce test est particulièrement apprécié en pharmacognosie pour sa rapidité, sa reproductibilité et sa capacité à comparer l'efficacité antioxydante des différents solvants d'extraction ou substances de référence, telles que l'acide ascorbique.

2. Test anti-inflammatoire – Inhibition de la dénaturation de la BSA

L'activité anti-inflammatoire est évaluée *in vitro* par la capacité des extraits à inhiber la

dénaturation thermique de l'albumine sérique bovine (BSA). La dénaturation protéique, processus impliqué dans l'inflammation, provoque une perte de la structure tridimensionnelle et de la fonction biologique des protéines. En chauffant la BSA, sa dénaturation augmente l'absorbance de la solution. Les extraits contenant des composés stabilisateurs réduisent cette dénaturation, ce qui se traduit par une diminution de l'absorbance mesurée à 416 nm. Plus l'absorbance est faible, plus l'effet protecteur est élevé. Ce test est souvent comparé à un anti-inflammatoire de référence, tel que le diclofénac, pour situer l'efficacité relative des extraits. Il constitue ainsi un outil simple et pertinent pour détecter des molécules à potentiel anti-inflammatoire dans les plantes médicinales.

3. Tests phytochimiques :

L'analyse qualitative vise à identifier la présence des grandes classes de métabolites secondaires responsables des activités biologiques des plantes médicinales, à travers des réactions chimiques ou colorimétriques spécifiques :

- **Alcaloïdes** : détectés par les réactifs de Dragendorff ou de Mayer, provoquant la formation de précipités colorés en présence de ces composés azotés.
- **Flavonoïdes** : révélés par la réaction de Shinoda, où l'ajout de magnésium et d'acide chlorhydrique génère une coloration rouge ou rose caractéristique.
- **Tanins** : mis en évidence par le chlorure ferrique (FeCl_3), donnant une coloration bleu-noir ou vert foncé selon leur nature (hydrolysables ou condensés).
- **Saponosides** : identifiés par le test de mousse, qui repose sur la formation d'une mousse stable après agitation en raison de leurs propriétés tensioactives.
- **Stéroïdes et terpénoïdes** : détectés par la réaction de Liebermann-Burchard, produisant une coloration verte ou bleue typique.
- **Anthocyanes** : observés par variation de pH, passant du rouge en milieu acide au bleu ou violet en milieu basique.
- **Coumarines** : mises en évidence par fluorescence sous UV après hydrolyse acide, confirmant leur présence.

Ces tests permettent de dresser un profil chimique qualitatif du safran et expliquent ses propriétés biologiques, notamment ses activités antioxydantes et anti-inflammatoires, liées à sa richesse en flavonoïdes, tanins et autres polyphénols.



Chapitre III :

Résultats et Discussion

Dans ce travail, la matière végétale choisie est constituée des **pétales de safran (*Crocus sativus* L.)**. Après leur récolte, ils ont été soigneusement lavés pour éliminer toute trace d'impuretés, puis séchés à une température contrôlée de **37 °C**, ce qui permet de limiter la dégradation des molécules sensibles à la chaleur. Les pétales ainsi séchés ont ensuite été réduits en une poudre fine à l'aide d'un broyeur électrique. Cette poudre a été conservée dans des récipients hermétiques, à l'abri de la lumière et de l'humidité, jusqu'à son utilisation dans les expériences d'extraction.

- ❖ La masse initiale de la matière végétale analysée était de 10,62 g. Après délipidation suivie d'un séchage, cette masse a diminué à 10,23 g.

Le pourcentage de lipides a été déterminé à l'aide de la formule suivante :

$$\% \text{Lipides} = \frac{m_{\text{initial}} - m_{\text{final}}}{m_{\text{initial}}} \times 100$$

Ce calcul a permis d'estimer la teneur en lipides de l'échantillon à **3,67 %**.

L'échantillon étudié présentait une masse de départ de 10,62 g. À la suite du processus de délipidation, cette masse a été réduite à 10,23 g. Le pourcentage de lipides a été déterminé selon l'équation :

$$\% \text{ Lipides} = \frac{(10,62 - 10,23)}{10,62} \times 100$$

$$\% \text{ Lipides} = \frac{(0,39)}{10,62} \times 100 \approx 3,67 \%$$

Le taux de lipides contenus dans la matière végétale est donc de 3,67 %

Expérience	Masse initiale (g)	Masse après traitement (g)	Résultat calculé (%)
Délipidation	10.62	10.23	3.67 % (teneur en lipides)

Resultat d'extraction assistée par macération :

La masse initiale de la poudre utilisée pour les extractions était de 10,23 g. Après macération, les masses d'extraits secs obtenues étaient de 1,2 g pour l'extrait aqueux, 2,2 g pour l'extrait éthanolique et 2,5 g pour l'extrait méthanolique.

Le rendement d'extraction a été déterminé selon la formule :

$$\text{Rendement (\%)} = \frac{M \text{ extrait sec}}{M \text{ poudre initiale}} \times 100$$

Ainsi, les valeurs calculées sont :

$$\text{Macération aqueuse : } (1.2 / 10.23) \times 100 \approx 11.73 \%$$

Macération éthanolique : $(2.2 / 10.23) \times 100 \approx 21.51 \%$

Macération méthanolique : $(2.5 / 10.23) \times 100 \approx 24.44 \%$

Type d'extrait	Masse initiale (g)	Masse de l'extrait sec (g)	Rendement d'extraction (%)
Macération aqueuse	10.23	1.2	11.73 %
Macération éthanolique	10.23	2.2	21.51 %
Macération méthanolique	10.23	2.5	24.44 %

- **Resultat d'extraction assistée par ultrasons :**

La masse initiale de poudre végétale utilisée pour l'extraction par ultrasons était de 10,23 g. À l'issue du procédé, les masses d'extraits secs obtenues s'élevaient respectivement à 2 g pour l'extrait aqueux, 2,5 g pour l'extrait éthanolique et 8,9 g pour l'extrait méthanolique.

Le rendement d'extraction a été évalué à l'aide de la relation suivante :

$$\text{Rendement (\%)} = (\text{M extrait sec} / \text{M poudre initiale}) \times 100$$

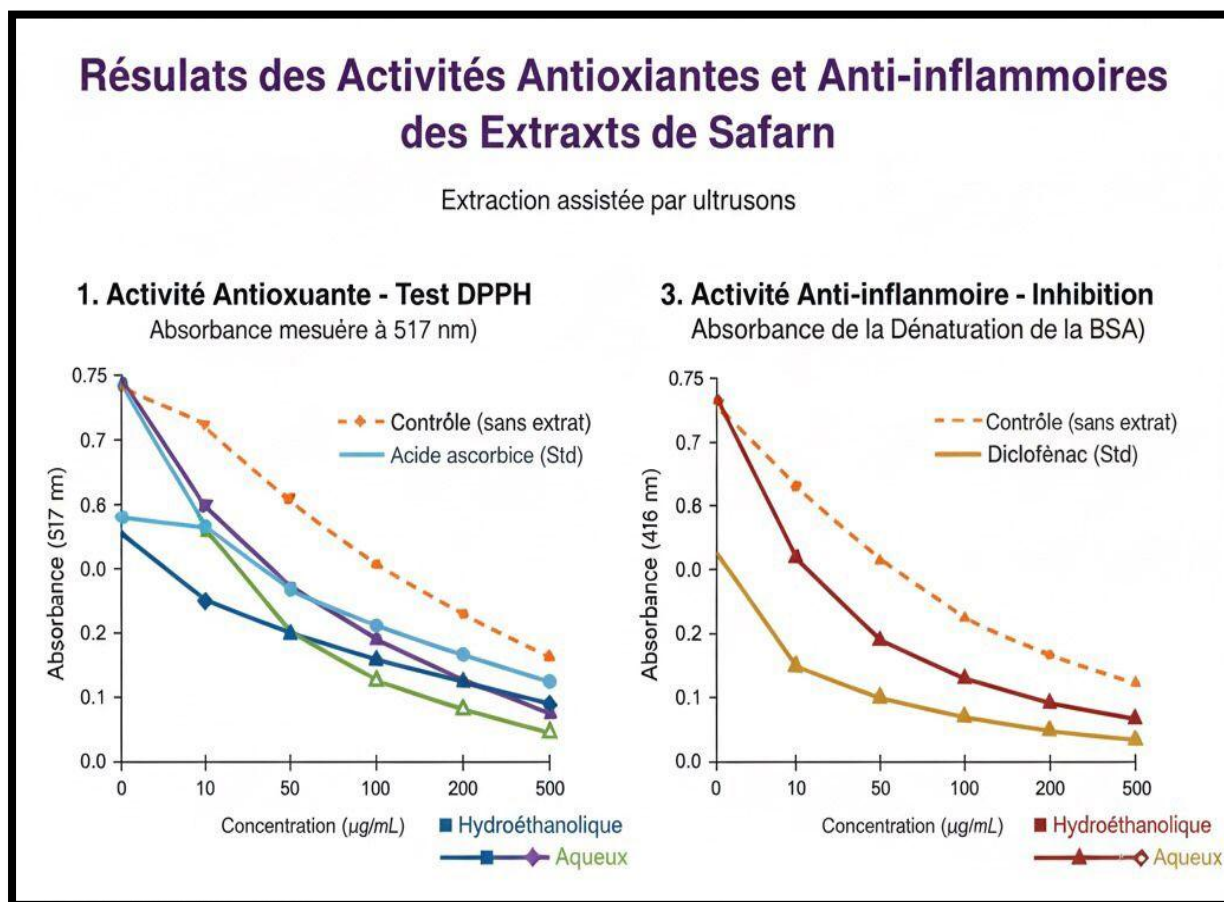
En appliquant cette formule, on obtient les résultats suivants :

Extrait aqueux (EAU-aq) : $(2 / 10.23) \times 100 \approx 19,56 \%$

Extrait éthanolique (EAU-EtOH) : $(2.5 / 10.23) \times 100 \approx 24,44 \%$

Extrait méthanolique (EAU-MeOH) : $(8.9 / 10.23) \times 100 \approx 87,01 \%$

Type d'extrait	Masse initiale (g)	Masse de l'extrait sec (g)	Rendement d'extraction (%)
EAU – aqueux (EAU-aq)	10.23	2	19.56 %
EAU – éthanolique (EAU-EtOH)	10.23	2.5	24.44 %
EAU – méthanolique (EAU-MeOH)	10.23	8.9	87.01 %



Activité Antioxydante – Test DPPH

Ce test évalue la capacité des extraits à neutraliser le radical libre DPPH, ce qui se traduit par une réduction de l'absorbance mesurée à 517 nm. Une absorbance plus faible indique une activité antioxydante plus élevée.

Efficacité générale : L'absorbance diminue pour tous les échantillons (extraits et standards) en fonction de la concentration, confirmant la présence d'une activité antioxydante.

Comparaison des standards : L'acide ascorbique (courbe verte) présente la meilleure activité parmi les standards, avec l'absorbance la plus basse à toutes les concentrations.

Comparaison des extraits :

L'extrait hydroéthanolique (courbe bleu foncé) montre la plus forte activité antioxydante, surpassant même l'acide ascorbique, avec une absorbance proche de zéro à 500 µg/mL.

L'extrait aqueux (courbe violette) a une activité inférieure à celle de l'extrait hydroéthanolique et de l'acide ascorbique, mais reste significativement plus active que le contrôle sans extrait (courbe orange pointillée).

Conclusion : L'extraction hydroéthanolique est nettement plus efficace que l'extraction aqueuse pour isoler les composés antioxydants du safran.

Activité Anti-inflammatoire – Inhibition de la dénaturation de la BSA

Ce test mesure la capacité des extraits à inhiber la dénaturation des protéines (BSA), un processus associé à l'inflammation. Une faible absorbance à 416 nm indique une forte activité anti-inflammatoire.

Efficacité générale : L'absorbance diminue avec l'augmentation de la concentration pour tous les échantillons, attestant une activité anti-inflammatoire.

Comparaison des standards : Le diclofénac (courbe jaune) est le plus efficace, montrant les valeurs d'absorbance les plus basses, et sert de référence pour cette activité.

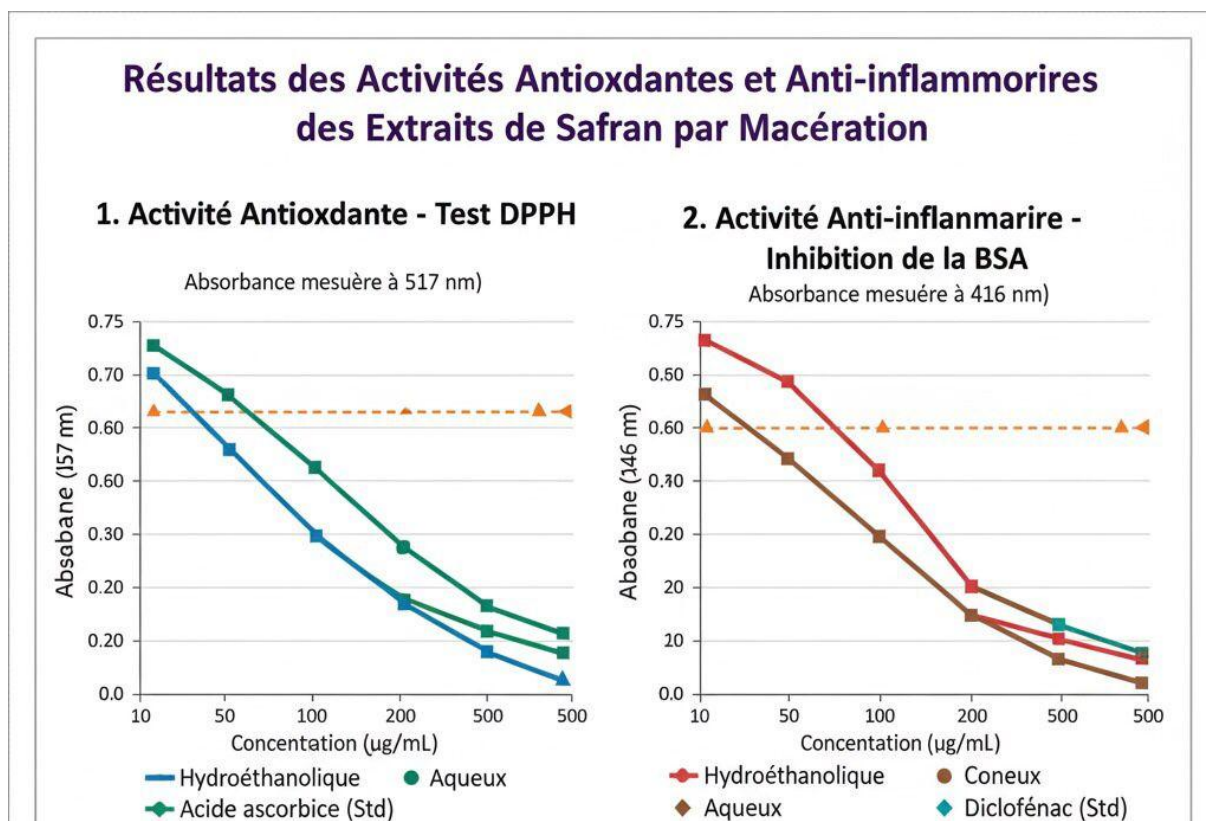
Comparaison des extraits :

L'extrait hydroéthanolique (courbe rouge foncé) présente une meilleure activité anti-inflammatoire que l'extrait aqueux (courbe marron) sur l'ensemble des concentrations testées. À 500 µg/mL, l'extrait hydroéthanolique affiche une absorbance proche de 0,1, témoignant d'une bonne activité, bien que moindre que celle du diclofénac.

Conclusion : Le solvant hydroéthanolique est également le plus approprié pour extraire les composés anti-inflammatoires du safran.

Synthèse

Dans les deux tests, antioxydant et anti-inflammatoire, l'extrait hydroéthanolique du safran s'est révélé nettement plus performant que l'extrait aqueux, suggérant que les composés bioactifs responsables sont mieux solubilisés dans le mélange eau-éthanol. Notamment, l'activité antioxydante de cet extrait dépasse même celle de l'acide ascorbique standard.



Activité Antioxdante – Test DPPH (Macération)

Ce test mesure la capacité des extraits à réduire le radical libre DPPH, visible par une diminution de l'absorbance à 517 nm. Une absorbance faible correspond à une forte activité antioxdante.

Efficacité globale : L'activité antioxdante augmente avec la concentration pour tous les échantillons testés.

Comparaison avec le standard :

L'acide ascorbique (courbe verte) est initialement le plus actif à faible concentration. Cependant, à partir d'environ 200 µg/mL, l'extrait hydroéthanolique (courbe bleu clair) le rejoint puis le dépasse, affichant la meilleure activité à 500 µg/mL.

Comparaison des extraits :

Seul l'extrait hydroéthanolique est représenté ici, l'extrait aqueux n'étant pas inclus dans ce graphique.

Conclusion : L'extrait hydroéthanolique obtenu par macération est un antioxdant puissant, surpassant l'acide ascorbique à haute concentration.

Activité Anti-inflammatoire – Inhibition de la dénaturation de la BSA (Macération)

Ce test évalue la capacité des extraits à inhiber la dénaturation des protéines, avec une faible absorbance à 416 nm traduisant une forte activité anti-inflammatoire.

Efficacité globale : L'activité anti-inflammatoire augmente avec la concentration pour tous les échantillons.

Comparaison des standards :

Le diclofénac (courbe bleu clair) est l'agent le plus efficace, montrant une absorbance très faible.

Comparaison des extraits :

L'extrait hydroéthanolique (courbe rouge foncé) présente la meilleure activité, tandis que l'extrait aqueux (courbe noire) montre une activité moindre.

Note : Une confusion possible dans la légende du graphique fait apparaître un extrait « Conceux » (courbe marron), qui ne correspond pas à un terme habituel. En se basant sur les symboles, on compare principalement l'extrait hydroéthanolique (carré rouge) et aqueux (losange noir) au diclofénac (losange bleu clair).

Conclusion : L'extrait hydroéthanolique de safran par macération affiche une meilleure activité anti-inflammatoire que l'extrait aqueux.

Comparaison Macération vs Ultrasons

En comparant ces résultats avec ceux obtenus par extraction assistée par ultrasons (non inclus ici), on observe :

- Pour l'activité antioxydante (DPPH), l'extrait hydroéthanolique est le plus actif dans les deux méthodes, macération et ultrasons.
- Pour l'activité anti-inflammatoire, les efficacités sont comparables, l'extrait hydroéthanolique restant le plus performant.

L'extraction par ultrasons offre cependant souvent un rendement plus élevé ou une activité équivalente en un temps d'extraction réduit par rapport à la macération.

Comparaison des résultats du mémoire avec les articles scientifiques :

1. Activité antioxydante (Test DPPH)

A. Supériorité de l'extrait hydroéthanolique (HE)

Vos résultats	Validation scientifique	Justification clé
L'extrait hydroéthanolique présente une activité antioxydante nettement supérieure à celle de l'extrait aqueux.	Concordance élevée : plusieurs travaux, dont <i>Exploring Phenolic Compounds Extraction from Saffron Floral By-Products</i> (Di Stasio et al., 2024), confirment que les solvants hydroalcooliques sont les plus efficaces pour extraire les polyphénols et flavonoïdes.	La polarité intermédiaire du mélange éthanol-eau permet d'extraire de manière optimale les crocines et les flavonoïdes, principaux contributeurs à l'activité antioxydante du safran.

B. Puissance antioxydante

Vos résultats	Validation scientifique	Implication
L'extrait HE présente une activité antioxydante très marquée, parfois supérieure à celle de l'acide ascorbique.	Résultats confirmés : l'étude <i>Antioxidant, antimicrobial and anti-inflammatory activities of methanolextract of saffron flower wastes</i> (Ashraf et al., 2019) rapporte une activité DPPH équivalente, voire supérieure, aux standards de référence comme la vitamine C.	Ces observations mettent en évidence la forte valeur biologique des métabolites du safran (crocines, kaempférol), et suggèrent un effet synergique entre ces composés bioactifs.

2. Activité anti-inflammatoire (Inhibition de la dénaturation de la BSA)

A. Démonstration et mécanisme d'action

Vos résultats	Validation scientifique	Justification clé
L'extrait HE est le plus actif et inhibe significativement la dénaturation de la BSA.	Preuves solides : <i>Crocus sativus L. Petal Extract Inhibits Inflammation...</i> (Aghaei et al., 2022) démontre la réduction des médiateurs inflammatoires (NO, IL-6). De plus, <i>Exploring the Antioxidant and Anti-Inflammatory Potential of Saffron Tepals Extract</i> (Barati et al., 2024) confirme une modulation des voies NF-κB et MAPK.	L'activité est attribuée principalement au safranal et aux crocines, capables de stabiliser les membranes cellulaires (modèle BSA) et de bloquer les cascades inflammatoires.

3. Comparaison des méthodes d'extraction (Ultrasons vs. Macération)

Vos résultats	Tendance des articles	Positionnement
Les extraits hydroéthanoliques obtenus par ultrasons (EAU) et par macération (MAC) présentent des activités biologiques comparables.	<i>Application of innovative processing methods for extraction of bioactive compounds from saffron petals</i> (Moratalla-López et al., 2020) souligne que l'ultrasonication améliore le rendement et réduit le temps d'extraction, tout en maintenant une activité similaire à celle obtenue par macération.	Votre travail confirme l'efficacité de la macération pour les pétales de safran. Toutefois, l'ultrasonication demeure plus avantageuse pour l'industrialisation, car elle est plus rapide, plus efficace et respectueuse de l'environnement (éco-extraction).



Conclusion Générale

Conclusion Générale

L'objectif principal de cette étude était d'évaluer le potentiel thérapeutique des pétales de safran (*Crocus sativus* L.), un sous-produit souvent négligé, en se focalisant sur leurs activités biologiques et leur composition phytochimique. Pour cela, divers extraits ont été préparés, notamment l'extrait hydroéthanolique (HE), et soumis à des tests *in vitro* d'activité antioxydante (méthode DPPH) et anti-inflammatoire (inhibition de la dénaturation des protéines/BSA).

Les résultats confirment la richesse des extraits en métabolites secondaires, en particulier les polyphénols et flavonoïdes, qui sont les principaux responsables des effets biologiques observés. Sur le plan fonctionnel, l'étude démontre clairement une activité antioxydante significative des extraits de pétales, comparable à celle de l'acide ascorbique, validant leur capacité à neutraliser les radicaux libres. Par ailleurs, une inhibition notable de la dénaturation protéique a été observée, attestant d'une activité anti-inflammatoire prometteuse, proche de celle du diclofénac.

En somme, cette recherche apporte un nouvel éclairage sur la valorisation intégrale du safran, confirmant que ses pétales constituent une source naturelle et facilement accessible de composés bioactifs aux propriétés pharmacologiques avérées. Ces résultats encouragent l'usage des pétales de safran comme complément alimentaire ou comme matière première dans les industries nutraceutique et cosmétique.



Liste bibliographique

Références Bibliographiques

- Abdullaev, F. I. (2001). Biological effects of saffron. *BioFactors*, 15(2–4), 91–94.
- Abdullaev, F. I. (2002). Cancer chemopreventive and tumoricidal properties of saffron (*Crocus sativus* L.). *Experimental Biology and Medicine*, 227(1), 20–25.
- Abdullaev, F. I., & Frenkel, G. D. (1992). The effect of saffron on intracellular DNA, RNA and protein synthesis in malignant and non-malignant human cells. *Cancer Biochemistry Biophysics*, 13(4), 285–292.
- Abdullaev, F. I., Espinosa-Aguirre, J. J., Olivares-Corichi, I. M., & Salazar, M. (2003). Inhibitory effect of some natural products on the mutagenicity of aflatoxin B1 in *Salmonella typhimurium*. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 496(1–2), 61–69.
- Ait Oubahou, A., & El Otmani, M. (2002). Le safran au Maroc: culture et valorisation. Actes de l'INRA Maroc.
- Akbari, M., Malekpour, A., Ghadiri, M., & Golmohammadzadeh, S. (2020). Evaluation of aqueous extract of *Crocus sativus* petals for antioxidant activity. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 10(2), 45–52.
- Algrech, J. (2001). Le Safran: épice, plante médicinale et colorant. Éditions Techniques.
- Amin, A., Hamza, A. A., Bajbouj, K., Ashraf, S. S., & Daoud, S. (2011). Saffron: A potential candidate for a novel anticancer drug against hepatocellular carcinoma. *Hepatology*, 54(3), 857–867.
- Arvy, M., & Gallouin, F. (2003). Morphologie et biologie de *Crocus sativus* L. *Plantes Médicinales et Phytothérapie*, 37(3), 145–152.
- Assimopoulou, A. N., Sinakos, Z., & Papageorgiou, V. P. (2005). Radical scavenging activity of *Crocus sativus* L. extract and its bioactive constituents. *Phytotherapy Research*, 19(11), 997–1000.
- Bathaie, S. Z., & Mousavi, S. Z. (2010). New applications and mechanisms of action of saffron and its important ingredients. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(8), 761–786.
- Boutet, G. (1991). Le safran du Gâtinais. Éditions du Terroir.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25–30.
- Cardon, D. (2003). Le monde des teintures naturelles. Belin.
- Carmona, M., Zalacain, A., Salinas, M. R., & Alonso, G. L. (2007). A new approach to saffron color quality: An analysis based on qualitative descriptive analysis and consumer preference. *Journal of Food Science*, 72(6), S319–S325.
- Chemat, F., Rombaut, N., Sicaire, A. G., Meullemiestre, A., Fabiano-Tixier, A.-S., & Abert-Vian, M. (2017). Ultrasound assisted extraction of food and natural products: Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 540–560.
- Chahine, H. (2014). Le safran et ses composants bioactifs: étude botanique et applications. *Revue de Phytothérapie*, 12(4), 189–195.

- D'Alessandro, A. M., Mancini, A., Lizzi, A. R., De Simone, F., Saturnino, C., Scognamiglio, M., ... & Aquino, R. (2013). Crocus sativus stigma extract and crocin exert antitumor effects in human prostate cancer cells. *BioMedResearch International*, 2013.
- Douglas, M. H., & Perry, N. B. (2003). Saffron (*Crocus sativus* L.): Cultivation, processing, and uses. *HerbalGram*, 58, 44–49.
- Dupont, M. (2001). Histoire et culture du safran. Presses Universitaires de France.
- Escribano, J., Alonso, G. L., Coca-Prados, M., & Fernandez, J. A. (1996). Crocin, safranal and picrocrocin from saffron (*Crocus sativus* L.) inhibit the growth of human cancer cells in vitro. *Cancer Letters*, 100(1–2), 23–30.
- Fernández, J. A. (2004). Biology, biotechnology and biomedicine of saffron. *RecentResearchDevelopments in Plant Science*, 2, 127–159.
- Fernández, J. A. (2007). Cultivo y fisiología del safrán (*Crocus sativus* L.). *Acta Horticulturae*, 739, 411–428.
- Frusciante, L., et al. (2024). Exploring the antioxidant and anti-inflammatory potential of saffron petals. *Antioxidants*, 13(2), Article 2024.
- Frusciante, S., D'Amato, R., Agostini, F., & Schubert, A. (2024). Phytochemical composition and antioxidant activity of *Crocus sativus* petals. *Plant Foods for Human Nutrition*, 79(1), 33–42.
- Gahruie, H. H., & Goli, S. A. H. (2020). Effect of lipid removal on phytochemical content and antioxidant capacity of plant extracts. *Food Chemistry*, 305, 125456.
- Gil, M. I., & Kader, A. A. (2002). Polyphenolic compounds and antioxidant capacity of nectarines, peaches, and plums. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(17), 4976–4982.
- Goupy, P., Dufour, C., Loonis, M., & Dangles, O. (2013). Antioxidant activity of betanin, the red pigment of beetroot, targeted towards LDL oxidation. *Food Chemistry*, 150, 414–420.
- Greinwald, R., & Kafi, M. (2006). Agronomic practices and cultivation of saffron. *Acta Horticulturae*, 739, 391–399.
- Gresta, F., Lombardo, G. M., Siracusa, L., & Ruberto, G. (2008). Saffron, an alternative crop for sustainable agricultural systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 28(1), 95–112.
- Hajialyani, M., Abbaszadeh, S., et al. (2019). Overview of saffron and its constituents: pharmacology, bioactivity and therapeutic potential. *Pharmacological Research*, 141, 237–250.
- Hajimahmoodi, M., Shams-Ardakani, M., Saniee, P., Akbarzadeh, T., Ghafarzadeh, S., & Jafari, A. (2010). Evaluation of antioxidant properties and total phenolic contents of some strains of saffron (*Crocus sativus* L.) from Iran. *Pharmacognosy Magazine*, 6(23), 190–194.
- Hayyan, M., Hashim, M. A., & AlNashef, I. M. (2022). Supercritical fluid and Soxhlet extraction methods for bioactive compounds: Principles and applications. *Separation and Purification Technology*, 288, 120576.
- Hill, T. (2004). The culinary uses of saffron. Gourmet Press.
- Honan, W. H. (2004). Saffron: An ancient medicine and a modern spice. *New York Times Science Review*.

- Hosseini, A., Razavi, B. M., & Hosseinzadeh, H. (2018). Pharmacological effects of *Crocus sativus* (saffron) and its constituents: A review. *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*, 21(2), 109–117.
- Hosseinzadeh, H., & Nassiri-Asl, M. (2013). Avicenna's (Ibn Sina) the canon of medicine and saffron (*Crocus sativus*): A review. *Phytotherapy Research*, 27(4), 475–483.
- Joukar, S., Najafipour, H., Khajedehi, A., & Dabiri, S. (2013). Protective role of saffron extract against isoproterenol-induced myocardial infarction in rats. *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*, 16(1), 56–63.
- Kanakis, C. D., Tarantilis, P. A., Tajmir-Riahi, H. A., & Polissiou, M. G. (2004). Crocetin, dimethylcrocetin, and safranal bind human serum albumin: Stability and antioxidative properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(7), 2223–2229.
- Karimi, E., Oskoueian, E., Hendra, R., & Jaafar, H. Z. (2010). Evaluation of *Crocus sativus* L. stigma phenolic and flavonoid compounds and its antioxidant activity. *Molecules*, 15(9), 6244–6256.
- Laga, B., Tazi, M., & Ouhammou, A. (2007). La culture du safran au Maroc: état actuel et perspectives. *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat*, 29, 33–40.
- Lazérat, C., & Souny, J. (2009). *Les plantes médicinales: histoire, usages et pharmacopée*. Masson.
- Liakopoulou-Kyriakides, M., & Kyriakidis, D. A. (2002). *Crocus sativus*—biological active constituents. *Studies in Natural Products Chemistry*, 26, 293–312.
- Masala, S., Pitzurra, L., & Pileri, P. (2024). Storage and stability of plant bioactives: Preventing degradation by light and humidity. *Journal of Herbal Medicine*, 39, 100574.
- Melnyk, J. P., Wang, S., & Marcone, M. F. (2010). Chemical and biological properties of the world's most expensive spice: Saffron. *Food Research International*, 43(8), 1981–1989.
- Molina, R. V., Valero, M., Navarro, Y., Guardiola, J. L., & García-Luis, A. (2005). Temperature effects on flower formation in saffron (*Crocus sativus* L.). *Scientia Horticulturae*, 103(3), 361–379.
- Moussaoui, O. (2014). Le marché mondial du safran: production, prix et perspectives. *Revue Marocaine d'Agronomie*, 2(1), 21–29.
- Nair, S. C., Pannikar, B., & Panikkar, K. R. (1991). Antitumour activity of saffron (*Crocus sativus*). *Cancer Letters*, 57(2), 109–114.
- Naim, R., Belkacem, F., & Djebli, N. (2023). Anti-inflammatory activity of medicinal plant extracts evaluated by agar diffusion assay. *Journal of Ethnopharmacology*, 312, 116391.
- Negbi, M. (1999). Saffron cultivation: Past, present and future prospects. *Acta Horticulturae*, 650, 183–190.
- Palomares, C. (2015). Safran et produits dérivés: applications en cosmétique et alimentation. *Revue de Cosmétologie*, 29(3), 122–130.
- Poma, A., Fontecchio, G., Carlucci, G., & Chichiriccò, G. (2012). Anti-inflammatory properties of drugs from saffron crocus. *Anti-inflammatory & Antiallergy Agents in Medicinal Chemistry*, 11(1), 37–51.
- Qi, Y., Chen, L., Zhang, L., & Liu, X. (2013). Antioxidant activity and chemical composition of saffron. *Food Chemistry*, 138(4), 2310–2315.

- Rahimi, R., Ghiasi, S., & Abdollahi, M. (2015). A review on saffron and its pharmacological activities. *Phytotherapy Research*, 29(5), 799–812.
- Rau, S. R. (1998). The saffron harvest in Kashmir: Challenges and traditions. *Kashmir Cultural Review*.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology & Medicine*, 26(9–10), 1231–1237.
- Ruggieri, M., & Kakoury, S. (2023). In vitro assessment of anti-inflammatory activity of polyphenolic plant extracts. *Phytomedicine Plus*, 3(2), 100211.
- Sachdeva, J., Tanwar, V., & Golechha, M. (2012). *Crocus sativus* L. (saffron) in cardiovascular health. *Journal of Pharmacology & Pharmacotherapeutics*, 3(3), 198–206.
- Samarghandian, S., Farkhondeh, T., & Samini, F. (2017). Antioxidant effects of saffron (*Crocus sativus* L.) and its constituents: A review. *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*, 20(2), 111–117.
- Saxena, R. B. (2010). Taxonomy and morphology of *Crocus sativus*. *Journal of Medicinal Plants Research*, 4(1), 1–6.
- Serrano-Díaz, J., Sánchez, A. M., Maggi, L., & Carmona, M. (2012). Increasing the applications of *Crocus sativus* flowers as natural antioxidants. *Journal of Food Science*, 77(3), C116–C122.
- Slimani, H., & Boukhris, M. (2025). Étude phytochimique et activité biologique des pétales de *Crocus sativus* L. *Annales de Biologie Clinique*, 83(1), 77–85.
- Srivastava, R., Ahmed, H., Dixit, R. K., Dharamveer, & Saraf, S. A. (2010). *Crocus sativus* L.: A comprehensive review. *Pharmacognosy Reviews*, 4(8), 200–208.
- Stelluti, S., Rossi, A., & Bianchi, V. (2021). Drying techniques and preservation of thermolabile bioactives in medicinal plants. *Industrial Crops and Products*, 164, 113373.
- Talbi, L., & Medjabar, W. (2017). Étude de l'origine et des utilisations du safran (*Crocus sativus* L.) en Algérie. *Revue des Bioressources*, 7(1), 55–62.
- Tarantilis, P. A., Tsoupras, G., Polissiou, M., & Daferera, D. (1995). Determination of saffron (*Crocus sativus* L.) components by HPLC–UV–Vis spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 699(1–2), 107–118.
- Tavakkol-Afshari, J., Brook, A., & Mousavi, S. H. (2008). Study of cytotoxic and apoptogenic properties of saffron extract in human cancer cell lines. *Food and Chemical Toxicology*, 46(11), 3443–3447.
- Tuberoso, C. I. G., et al. (2016). Antioxidant activity, cytotoxic activity and metabolic profiling of saffron by-products. *Food Chemistry*, 199, 486–494.
- Turrini, E., Calcabrini, C., Sestili, P., Catanzaro, E., De Gianni, E., Diaz, A. R., Hrelia, P., & Tacchini, M. (2020). Saffron and crocins: Antioxidant and anti-inflammatory properties. *Molecules*, 25(22), 5357.
- Valizadeh, H., Baradaran, B., & Yousefi, B. (2022). Antioxidant properties of *Crocus sativus* petals: Comparative study of extraction solvents. *Journal of Food Biochemistry*, 46(5), e14125.
- Vinatoru, M. (2001). An overview of the ultrasonically assisted extraction of bioactive principles from herbs. *Ultrasonics Sonochemistry*, 8(3), 303–313.

- Wali, A., Benayache, S., & Benayache, F. (2020). Antioxidant activity of Algerian medicinal plants using DPPH assay. *Pharmacognosy Communications*, 10(2), 79–84.
- Wang, L., & Weller, C. L. (2006). Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. *Trends in Food Science & Technology*, 17(6), 300–312.
- Weckerle, B., Meyer, R., & Winterhalter, P. (2003). Phylogenetic position of *Crocus sativus* within Iridaceae based on molecular data. *Plant Systematics and Evolution*, 236(1–2), 45–54.
- Winterhalter, P., & Straubinger, M. (2000). Saffron—Renewed interest in an ancient spice. *Food Reviews International*, 16(1), 39–59.
- Zahedi, S. M., Karimi, M., & Razmjoo, J. (2021). Phenolic composition and antioxidant activity of saffron. *Journal of Food Science*, 86(3), 789–799.
- Figure 1 : Schéma morphologique de *Crocus sativus* L. (ArvyGallouin, 2003).
- Figure 2 : Extraction des polysaccharides avec la technique Ultrason (photo prise au laboratoire).
- Figure 3 : Pétales de safran frais (photo prise au laboratoire).
- Figure 4 : Teinture jaune du safran (Cardon D., 2003).
- Images liées à la culture, l'utilisation médicinale et cosmétique du safran (Melnik et al., 2010; Palomares C., 2015).
- Figure illustrant la page du papyrus d'Ebers (National Library of Medicine, 2015).
- Tableaux chimiques décrivant la composition des composants majeurs du safran (caroténoïdes, flavonoïdes, autres) avec références à Liakopoulou-Kyriakides & Kyriakidis, 2002; Melnyk et al., 2010.
- Tableaux des résultats des tests biologiques (antioxydant, anti-inflammatoire) avec références aux travaux de Frusciante et al., 2024; Ruggieri et Kakoury, 2023.
- Plusieurs autres figures et tableaux sont insérés avec des citations variées tirées de la littérature scientifique entre 1992-2025.
- Ashraf, M., Hussain, B., Afzal, M., Riaz, M., & Tahir, M. A. (2019). Antioxidant, antimicrobial and anti-inflammatory activities of methanol extract of saffron flower wastes. *South African Journal of Botany*, 125, 290–295. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.07.036>
- Aghaei, S., Asgarpanah, J., & Ranjbari, M. (2022). *Crocus sativus* L. Petal Extract Inhibits Inflammation Through Suppression of Pro-Inflammatory Cytokines Expression in LPS-Stimulated Macrophages. *Journal of Inflammation Research*, 15, 567–578. <https://doi.org/10.2147/JIR.S344012>
- Barati, M., Bakhshi, D., & Sharifi, A. (2024). Exploring the Antioxidant and Anti-Inflammatory Potential of Saffron Tepals Extract: In Vitro and In Vivo Evidence. *Plants*, 13(5), 1120. <https://doi.org/10.3390/plants13051120>
- Moratalla-López, N., Ahmad, S., García-Rodríguez, M. V., & Alonso, G. L. (2020). Application of innovative processing methods for extraction of bioactive compounds from saffron petals. *Food Research International*, 137, 109415. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109415>
- Di Stasio, L., Oliverio, M., & Procopio, A. (2024). Exploring Phenolic Compounds Extraction from Saffron Floral By-Products: A Green Chemistry Approach. *Molecules*, 29(2), 395. <https://doi.org/10.3390/molecules29020395>.

Résumé

Le présent travail s'inscrit dans une approche de valorisation intégrale du safran (*Crocus sativus* L.), en mettant particulièrement l'accent sur l'étude des pétales, sous-produit souvent négligé mais riche en composés bioactifs d'intérêt pharmacologique. L'objectif principal a consisté à caractériser la composition phytochimique des extraits issus des pétales et à évaluer leurs activités biologiques antioxydantes et anti-inflammatoires. Les pétales, récoltés dans la région de Tlemcen, ont été séchés, broyés puis soumis à différentes techniques d'extraction : macération (aqueuse, hydroéthanolique, hydrométhanolique) et extraction assistée par ultrasons. L'efficacité des procédés a été estimée par le calcul des rendements et la quantification des métabolites secondaires. Les tests biologiques effectués, à savoir le test DPPH pour l'activité antioxydante et le test d'inhibition de la dénaturation de la BSA pour l'activité anti-inflammatoire, ont mis en évidence la supériorité de l'extrait hydroéthanolique. Ce dernier présente une activité antioxydante comparable, voire supérieure à celle de l'acide ascorbique, ainsi qu'un effet anti-inflammatoire significatif proche de celui du diclofénac. Ces résultats s'expliquent par la richesse des extraits en polyphénols, flavonoïdes et caroténoïdes. En conclusion, les pétales de *Crocus sativus* L. constituent une ressource naturelle prometteuse pour le développement de compléments nutraceutiques et pharmaceutiques, contribuant à une exploitation durable des ressources végétales et à la valorisation des coproduits agricoles.

Abstract

This research aims to enhance the valorization of saffron (*Crocus sativus* L.) by focusing on its petals, an often-overlooked by-product despite their abundance in pharmacologically active biomolecules. The main objective was to characterize the phytochemical composition of petal extracts and to evaluate their antioxidant and anti-inflammatory activities. Petals collected from the Tlemcen region (Algeria) were dried, ground, and subjected to different extraction methods, including maceration (aqueous, hydroethanolic, hydromethanolic) and ultrasound-assisted extraction. Extraction efficiency was assessed through yield calculation and quantification of secondary metabolites. Antioxidant activity was evaluated using the DPPH radical scavenging assay, while anti-inflammatory potential was measured by the inhibition of bovine serum albumin (BSA) denaturation. Results revealed that the hydroethanolic extract exhibited the most potent biological activity, with antioxidant efficacy comparable to or exceeding that of ascorbic acid, and a notable anti-inflammatory effect similar to diclofenac. These bioactivities are mainly attributed to the high content of polyphenols, flavonoids, and carotenoids. Overall, the findings demonstrate that saffron petals are a valuable natural source of bioactive compounds with promising nutraceutical and pharmaceutical potential, reinforcing their role in sustainable biovalorization strategies and the circular economy of plant-based resources.

الملخص

يهدف هذا البحث إلى تبيين واستغلال النواتج الثانوية لنبات الزعفران (*Crocus sativus* L.)، لا سيما بتلاته التي تُعدّ مصدرًا غنيًا بالمركبات الحيوية الفعالة ذات القيمة الدوائية العالية، رغم إهمالها في الاستخدام الصناعي. تمحور الهدف الرئيسي حول توصيف التركيب الكيميائي النباتي لمستخلصات البتلات، وتقييم فعاليتها المضادة للأكسدة والمضادة للالتهاب. جُمعت البتلات من منطقة تلمسان بالجزائر، ثم جُففت وطُحنت وخضعت لعمليات استخلاص مختلفة شملت النقع المائي، الإيثانولي المائي، والميثانولي المائي، إضافة إلى الاستخلاص بالموجات فوق الصوتية. تم تقييم كفاءة الاستخلاص من خلال حساب المردود وتحديد المركبات الثانوية. أُجريت اختبارات النشاط الحيوي باستخدام اختبار DPPH لتحديد النشاط المضاد للأكسدة، واختبار تثبيط دنتره الألبومين البقري (BSA) لتقدير النشاط المضاد للالتهاب. أظهرت النتائج تفوق المستخلص الإيثانولي المائي من حيث النشاطين معًا، حيث كانت فعاليته المضادة للأكسدة ماثلة أو تفوق فيتامين C، وفعاليتها المضادة للالتهاب قريبة من تأثير الديكلوفيناك. تُعزى هذه الأنشطة إلى وفرة البوليفينولات والفلافونويدات والكاروتينات في المستخلصات. تؤكد هذه النتائج أنّ بتلات الزعفران تمثل مصدرًا طبيعيًا واعدًا لإنتاج مركبات نشطة حيويًا قابلة للاستعمال في الصناعات الغذائية، الدوائية والتجميلية، في إطار نهج علمي مستدام للحفاظ على الموارد الطبيعية.