

Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de
MASTER EN SCIENCES BIOLOGIQUES

Spécialité : Pharmacotoxicologie

Par

HAMMOUDI Fatima Zohra

KADDOUR Ikram

TEFKA Chaimaa

Thème :

**Étude phytochimique et évaluation de l'activité
litholytique des extraits de fleurs d'*Opuntia ficus-indica*
et de stigmates de *Zea mays***

Soutenue le : 28/09/2026

Devant le jury composé de :

Président	DOUCHENE Salima	MCA	Université de Mostaganem
Encadrante	BENHMIMED El atafia	MCA	Université de Mostaganem
Examinatrice	SAYEH Farida	MCB	Université de Mostaganem

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Dieu Tout-Puissant, qui nous a donné la patience, le courage et la volonté nécessaires pour réaliser ce travail.

Nous tenons à adresser nos sincères remerciements à notre encadrante,

M^{me} BENHMIMED Elattafia, pour avoir accepté de nous encadrer, pour sa confiance, ses conseils, sa disponibilité et son aide tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Nous remercions également les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer notre travail, ainsi que pour le temps et l'attention qu'ils lui ont consacrés.

Nos sincères remerciements vont également aux techniciens des laboratoires de biochimie, pour leur aide, leur disponibilité et leur collaboration au cours de la réalisation de la partie expérimentale de ce travail.

Nous remercions particulièrement **Mr BEN BOUZIANE Djillali**, chargé des missions de gestion des laboratoires de la Faculté, pour sa disponibilité, son aide et pour les facilités qu'il nous a offertes durant la réalisation de ce travail.

Nous adressons également nos remerciements à **M^{me} SEKKEL Fatima**, enseignante au Département de Biotechnologie, Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, pour ses conseils, son soutien et ses encouragements.

Nous n'oublions pas de remercier tous les enseignants et nos collègues, ainsi que toutes les personnes qui nous ont aidés et encouragés, de près ou de loin, tout au long de notre parcours.

À toutes ces personnes, nous adressons nos sincères remerciements et notre profonde gratitude.

Merci beaucoup à tous.

Dédicace

Derrière chaque réussite se cachent des sacrifices, des prières, des encouragements et des mains tendues. C'est avec une profonde émotion et une immense gratitude que je dédie ce mémoire à toutes les personnes qui ont illuminé mon chemin et cru en moi.

Tout d'abord, je remercie Allah, le Tout-Puissant, de m'avoir guidée et de m'avoir accordé la force, la patience et la persévérance nécessaires pour mener ce travail à son accomplissement.

À mes très chers parents,

Aucun mot ne saurait exprimer ma profonde gratitude pour votre amour inconditionnel, vos sacrifices, vos encouragements et vos prières. Vous êtes la source de ma force et de ma réussite. Qu'Allah vous protège, vous accorde une longue vie et vous comble de Ses bienfaits.

À ma chère sœur et à mes chers frères,

Merci pour votre affection, votre soutien indéfectible et votre présence à chaque étape de mon parcours.

À mon adorable neveu et à ma future petite nièce,

Vous êtes une source de joie et de bonheur. Que vos vies soient remplies de réussite, de santé et de bénédictions.

À mes chères binômes, Ikram et Chaima,

Merci d'avoir partagé avec moi cette belle aventure universitaire. Je vous souhaite un avenir brillant, rempli de succès et d'épanouissement.

À toutes les personnes qui ont cru en moi, m'ont encouragée et soutenue, de près ou de loin,

Recevez l'expression de ma profonde reconnaissance et de mes plus sincères remerciements.

À mes enseignants,

En témoignage de mon profond respect et de ma sincère gratitude pour leur savoir, leur disponibilité et leur accompagnement tout au long de mon parcours.

Enfin, je dédie ce mémoire à moi-même.

À celle qui a traversé les doutes, les difficultés et les moments de fatigue sans jamais renoncer. À celle qui a appris que la persévérance, la foi et la détermination ouvrent toujours le chemin vers la réussite.

Que ce mémoire soit le reflet de tous les efforts accomplis et le premier pas vers de nouveaux horizons.

À tous, j'exprime mon amour, mon profond respect et mon infinie gratitude.

Fatima

Dédicace

Du profond de mon cœur je dédie ce travail :

Avant tout je remercie ALLAH le très haut de nous avoir donné la force, la volonté et la patience de suivre nos études, réaliser et d'achever ce modeste travail.

A ma famille, elle qui m'a doté d'une éducation digne, son amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui :

Particulièrement :

A ma très chère mère « Fatiha »

La bougie de ma vie, la source d'amour, la chandelle qui m'a allumé le chemin vers la réussite, qui m'a toujours guidée avec ses précieux conseils, ma source de force qui m'a encouragé à aller de l'avant, quoi que je fasse ou que je dis, je ne saurais point te remercier comme il se doit. Merci pour tout ce que vous m'avez donné depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.

A mon père « Mohammed »

L'épaule solide, l'ami compréhensif et la personne le plus digne et mon estime de mon respect. Tous les jours, vous étiez là pour me protéger, m'éduquer, me guider, je veux vous remercier pour tout ce que vous avez fait pour moi et pour votre présence à mes côtés qui a toujours été me soutenir et m'encourager.

Mes parents

Nulle dédicace n'est susceptible de vous exprimer mes profondes affections et mes immenses gratitude pour tous les sacrifices que vous avez consentis pour mes éducations et mes études, Puisse dieu prêter bonne santé et longue vie.

A mon bras droit, mon cher frère « Abdenour ». Merci d'être toujours avec moi, que dieu vous A mes chères sœurs

Ma source de joie et de bonheur : Hind, Kawther, Vous avez toujours cherché mon plaisir et mon sourire, je vous souhaite un avenir radieux plein de réussite. Que Dieu les protège.

Toute ma famille chacun son nom; je vous aime tous.

A mes binôme « Chaimaa et Fatima »

que j'aime beaucoup et avec que j'ai partagé le bonheur et le malheur tout au long mon cursus d'études, merci pour tout ce que tu as fait pour la réussite de ce travail.

A mes chères copines

avec lesquelles j'ai passé des moments agréables et inoubliables que je ne vais jamais oublier et avec qui j'ai partagé ces dernières années : Chaimaa, Amani et Djamila Que nos liens restent toujours solides et que Dieu nous apporte bonheur et nous aide à réaliser tous nos vœux. Je vous aime énormément.

A toute la promotion 2021/2026

A toute personne qui a un sentiment d'amour et de respect envers moi, je vous dis « MERCI ».

Akram

Dédicace

C'est avec une profonde gratitude et une immense émotion que je dédie ce modeste travail :

À mes très chers parents, pour leur amour inconditionnel, leurs sacrifices, leur patience, leurs précieux conseils et leurs prières qui m'ont toujours accompagnée. Vous avez été ma plus grande source de force et de motivation. Que ce travail soit le témoignage de ma reconnaissance et de mon profond respect.

À mes chers frères , pour leur affection, leur soutien indéfectible et leurs encouragements qui m'ont aidée à avancer tout au long de ce parcours.

À mes chères amies, et tout particulièrement à Kawther, en témoignage de notre sincère amitié, de son soutien, de sa présence et des merveilleux moments partagés.

À mes binômes de mémoire, Fatima et Ikram, avec qui j'ai partagé cette belle aventure académique. Merci pour votre esprit d'équipe, votre engagement, votre entraide et tous les efforts accomplis ensemble. Je vous souhaite beaucoup de réussite dans votre vie professionnelle et personnelle.

À ma chère cousine Soumia, pour sa bienveillance, son affection et ses encouragements qui m'ont été précieux.

Enfin, à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire et m'ont accompagnée durant cette étape importante de ma vie.

Chaima

Résumé

La présente étude s'inscrit dans le cadre de la valorisation des plantes médicinales dans la prise en charge de la lithiase urinaire. Elle a pour objectif d'étudier les propriétés phytochimiques des extraits des fleurs du figuier de Barbarie (*Opuntia ficus-indica*) et des stigmates de *Zea mays*, ainsi que d'évaluer leur potentiel litholytique. Dans un premier temps, un aperçu général sur la lithiase urinaire et l'intérêt thérapeutique des plantes médicinales a été présenté, suivi d'une étude bibliographique portant sur les caractéristiques botaniques et les constituants phytochimiques des deux espèces végétales. La partie expérimentale a porté sur l'extraction aqueuse par décoction, infusion et macération, puis sur l'évaluation de l'activité litholytique *in vitro* vis-à-vis des calculs de cystine et de phosphate, durant une période de 27 jours. Les résultats obtenus montrent une diminution progressive de la masse des calculs pour les différents extraits. Pour les calculs de cystine, la meilleure activité a été observée avec l'infusion des fleurs d'*Opuntia ficus-indica*, avec une réduction de la masse de $0,384 \pm 0,084$ g à $0,098 \pm 0,071$ g, soit environ 74,5 %. Pour les stigmates de *Zea mays*, la décoction a présenté la réduction la plus importante, passant de $0,301 \pm 0,046$ g à $0,105 \pm 0,149$ g, soit environ 65,1 %. Concernant les calculs de phosphate, l'infusion des fleurs d'*Opuntia ficus-indica*, a également montré l'effet le plus marqué, avec une réduction d'environ 75,8 %, tandis que les extraits de *Zea mays* ont présenté des réductions comprises entre 48,1 et 54,7 % selon le mode d'extraction. Parallèlement, une évolution du pH des milieux de dissolution a été observée au cours de l'expérimentation, accompagnant la diminution de la masse des calculs. L'ensemble de ces résultats met en évidence le potentiel litholytique des fleurs d'*Opuntia ficus-indica*, et des stigmates de *Zea mays*, particulièrement sous forme d'infusion et de décoction, et souligne leur intérêt comme sources naturelles de composés bioactifs susceptibles d'être valorisés dans la recherche de nouvelles alternatives contre la lithiase urinaire.

Mots-clés : Activité litholytique, lithiase urinaire, calculs de cystine et de phosphate

Opuntia ficus-indica, *Zea mays*

Abstract

This study is part of an effort to utilize medicinal plants in the management of urolithiasis. Its objective is to investigate the phytochemical properties of extracts from prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) flowers and *Zea mays* stigmas, and to evaluate their litholytic potential. Initially, a general overview of urinary lithiasis and the therapeutic value of medicinal plants was provided, followed by a literature review covering the botanical characteristics and phytochemical constituents of the two plant species. The experimental phase involved aqueous extraction via decoction, infusion, and maceration, followed by an evaluation of *in vitro* litholytic activity against cystine and phosphate stones over a 27-day period. The results obtained show a progressive decrease in stone mass across the various extracts. For cystine stones, the greatest activity was observed with the *Opuntia ficus-indica* flower infusion, resulting in a mass reduction from 0.384 ± 0.084 g to 0.098 ± 0.071 g (approximately 74.5%). For *Zea mays* stigmas, the decoction yielded the most significant reduction, decreasing from 0.301 ± 0.046 g to 0.105 ± 0.149 g (approximately 65.1%). Regarding phosphate stones, the *Opuntia ficus-indica* flower infusion again demonstrated the most pronounced effect, with a reduction of approximately 75.8%, whereas *Zea mays* extracts showed reductions ranging from 48.1% to 54.7%, depending on the extraction method. Concurrently, a change in the pH of the dissolution media was observed during the experiment, accompanying the reduction in stone mass. These results highlight the litholytic potential of *Opuntia ficus-indica* flowers and *Zea mays* stigmas particularly in the form of infusions, decoctions, and underscore their value as natural sources of bioactive compounds that could be utilized in the search for new alternatives to treat urolithiasis.

Keywords: litholytic activity, urinary lithiasis, Cysteine and phosphate stones, *Opuntia ficus-indica*, *Zea mays*.

المخلص

تندرج هذه الدراسة ضمن الجهود الرامية إلى توظيف النباتات الطبية في علاج حصوات المسالك البولية. وتهدف الدراسة إلى استقصاء الخصائص الكيميائية النباتية لمستخلصات أزهار التين الشوكي ومياسم الذرة، وتقييم قدرتها على تفتيت الحصوات. وقد استُهلّت الدراسة بتقديم لمحة عامة عن حصوات المسالك البولية والقيمة العلاجية للنباتات الطبية، تلاها استعراض للأدبيات العلمية التي تتناول الخصائص النباتية والمكونات الكيميائية لهذين النوعين من النباتات. أما المرحلة التجريبية، فقد شملت إجراء عمليات استخلاص مائي باستخدام طرق الغلي، والنقع الساخنة والنقع البارد، تلاها تقييم للنشاط المذيب للحصوات (خارج الجسم الحي) ضد حصوات السيستين واليوسفات على مدار 27 يوماً. تُظهر النتائج المحصلة انخفاضاً تدريجياً في كتلة الحصوات عبر مختلف المستخلصات. فبالنسبة لحصوات السيستين، لوحظت الفعالية الأكبر عند استخدام منقوع أزهار التين الشوكي، مما أدى إلى انخفاض الكتلة من 0.084 ± 0.384 جم إلى 0.071 ± 0.098 جم (أي بنسبة 74.5% تقريباً). أما بالنسبة لمياسم الذرة، فقد حقق المغلي الانخفاض الأبرز، إذ تراجعت الكتلة من 0.046 ± 0.301 جم إلى 0.149 ± 0.105 جم (أي بنسبة 65.1% تقريباً). وفيما يتعلق بحصوات اليوسفات، أظهر منقوع أزهار التين الشوكي مجدداً التأثير الأقوى بنسبة انخفاض بلغت 75.8% تقريباً، في حين أظهرت مستخلصات مياسم الذرة انخفاضاً تراوح بين 48.1% و 54.7%، وذلك حسب طريقة الاستخلاص المستخدمة. وفي الوقت نفسه، لوحظ تغير في درجة الحموضة (pH) لأوساط الإذابة أثناء التجربة بالتزامن مع انخفاض كتلة الحصوات. وتُبرز هذه النتائج القدرة على تفتيت الحصوات التي تتمتع بها أزهار نبات التين الشوكي ومياسم الذرة لا سيما عند تحضيرها على هيئة منقوع أو مغلي وتؤكد قيمتها كمصادر طبيعية لمركبات نشطة بيولوجياً يمكن الاستفادة منها في البحث عن بدائل جديدة لعلاج حصوات المسالك البولية. ومع ذلك، ثمة حاجة إلى إجراء المزيد من الدراسات لتحديد المركبات المسؤولة عن هذا النشاط وتوضيح آليات عملها.

الكلمات المفتاحية: نشاط تفتيت الحصوات؛ حصوات السيستين واليوسفات؛ التين الشوكي والذرة الشامية

Table des matières

Liste des figures	I
Listes de tableaux	III
Liste d'abréviations.....	IV
Introduction générale.....	I

Partie I: Partie bibliographique

Chapitre I: Généralités sur la lithiase urinaire

I.1.Définition	3
I.2.Historique.....	3
I.3.Epidémiologie de la lithiase urinaire	4
I.4.La Lithogenèse.....	6
I.4.1. Étapes de la lithogenèse.....	6
I.4.2. Composition chimique des calculs urinaires	8
I.5.Facteurs de risque des lithiases urinaires	9
I.6.Etiologie de lithiase urinaire	9
I.7.Symptômes de lithiase urinaire	9
I.8.Diagnostic des lithiases urinaires.....	10
I.9.Traitement de la lithiase urinaire	11
I.9.1. Traitement préventif de la lithiase urinaire	11
I.9.2. Traitement pharmacologique des lithiases cystiniques et phosphatées	11
I.9.3. Traitement chirurgical des lithiases cystiniques et phosphatées	12
I.9.4. Traitements par phytothérapie des lithiases urinaires	14

Chapitre II: Les plantes médicinales et la phytothérapie

II.1.Les plantes médicinales	15
II.2.Origine des plantes médicinales	15

II.2.1.	Les plantes spontanées	15
II.2.2.	Les Plantes cultivées	16
II.3.	La Phytothérapie.....	16
II.4.	Les principes actifs et les métabolites secondaires des plantes médicinales	17
II.4.1.	Les composés phénoliques	17
II.4.2.	Les flavonoïdes	18
II.4.3.	Les alcaloïdes	20
II.4.4.	Les terpénoïdes.....	22
II.5.	Les activités biologiques des plantes médicinales.....	24

Chapitre III: Aperçu général sur les espèces étudiées

III.1.	<i>Zea mays</i> L.	26
III.1.1.	Description botanique	26
III.1.2.	Classification botanique :.....	26
III.1.3.	Composition phytochimique	27
III.1.4.	Études pharmacologiques et applications potentielles en santé	27
III.2.	Figuier de barbarie	29
III.2.1.	Description du figuier de barbarie (<i>Opuntia. ficus indica</i>) :	29
III.2.2.	Classification botanique	30
III.2.3.	Caractéristiques morphologiques	31
III.2.4.	Les fleurs d' <i>Opuntia ficus-indica</i> L	33
III.2.5.	Importance de la culture du Figuier de Barbarie.....	33

Partie II: Partie Expérimentale

Chapitre IV: Matériels et Méthodes

IV.1.	Matériels et Méthodes.....	35
IV.2.	Matériel végétal.....	35
IV.3.	Calculs urinaires.....	35

IV.4.Appareillage	Erreur ! Signet non défini.
IV.5.Produits chimiques et réactifs utilisés	Erreur ! Signet non défini.
IV.6.Méthodes d'extraction	36
IV.7.Analyses phytochimiques	38
IV.8.Evaluation de l'activité litholytique	39

Chapitre V: Résultats et discussions

V.1. Résultats du rendement d'extraction	42
V.2. Screening phytochimique	43
V.3. Evaluation de l'activité litholytique	46
V.4. Discussion générale	53
Conclusion.....	59
Références bibliographiques	61

Liste des figures

Figure 1: Les étapes de la lithogénèse (Senouci et Benlakehal, 2023)	7
Figure 2: Lithotripsie extracorporelle (LEC)	13
Figure 3: (a) L'urétéroscope rigide, (b) l'urétéroscope souple	13
Figure 4: NLPC (Néphrolithtomie per-cutanée)	14
Figure 5: Structure de base : (A) Acides benzoïque ; (B) Acides cinnamique	19
Figure 6: <i>Zea mays</i> L.	26
Figure 8: Principales utilisations et caractéristiques du figuier de barbarie dans un contexte de changement climatique	29
Figure 7 : <i>Opuntia ficus-indica</i> L. (Figuier de Barbarie)	29
Figure 9: Raquette d' <i>Opuntia</i>	31
Figure 10: Figuiers de barbarie	32
Figure 11: Fleur d' <i>Opuntia ficus-indica</i> L.	32
Figure 12: Échantillon de stigmates de <i>Z.mays</i> L	35
Figure 13: Échantillon de fleurs séchées d' <i>O. ficus-indica</i>	35
Figure 14: échantillon de calculs de type phosphate.....	36
Figure 15: échantillon de calculs de type cystine.....	36
Figure 16: Schéma des étapes de préparation de l'extrait aqueux par décoction.....	36
Figure 17: Schéma récapitulatif de Macération	37
Figure 18: Schéma récapitulatif de l'infusion	37
Figure 26: Évolution de la masse des calculs de cystine au cours de l'étude litholytique des extraits de fleurs d' <i>O. ficus-indica</i> (Moyenne $\pm$ ET, n = 3).	47

- Figure 27:** Évolution du pH du milieu contenant les calculs de cystine au cours de l'étude litholytique des extraits de fleurs d'*O. ficus-indica*. 48
- Figure 28:** Évolution de la masse des calculs de cystine en fonction du temps selon les différents modes d'extraction des stigmates de *Z. mays* L. (Moyenne $\pm$ ET, n = 3). 49
- Figure 29:** Évolution du pH du milieu contenant les calculs de cystine au cours de l'étude litholytique des extraits de stigmates de *Zea mays* L. **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 30:** Évolution de la masse (g) des calculs de phosphate en fonction du temps et du mode d'extraction des fleurs d'*O. ficus-indica* (Moyenne $\pm$ ET, n = 3). 50
- Figure 31:** une courbe représente l'évolution du pH de phosphate de figuier de barbarie selon diffèrent méthode d'extraction (le NaCl témoin) 51
- Figure 32:** Une courbe représente l'évolution du poids (g) de phosphate de stigmates de *Z. mays* (n = 3) selon diffèrent méthode d'extraction (le NaCl témoin) 52
- Figure 33:** Une courbe représente l'évolution de pH de phosphate de stigmates de *Z. mays* (n = 3) selon diffèrent méthode d'extraction (le NaCl témoin) 53

Listes de tableaux

Tableau 1 : Répartition des principaux constituants des calculs urinaires (adapté d'après les travaux de Daudon (2001, 2004).....	8
Tableau 2: Classification botanique	27
Tableau 3: Classification botanique d' <i>Opuntia ficus-indica</i> L	30
Tableau 4: Rendement des différents extraits des stigmates de <i>Z. mays</i> selon la méthode d'extraction	42
Tableau 5: Rendement des différents extraits du figuier de barbarie selon la méthode d'extraction ..	43
Tableau 6: Résultats du screening phytochimique qualitatif des extraits de stigmates de <i>Zea mays</i> obtenus par décoction, infusion et macération.	44
Tableau 7: Résultats du screening phytochimique qualitatif des extraits de fleurs de <i>Opuntia ficus-indica</i> obtenus par décoction, infusion et macération.	45

Liste d'abréviations

AINS : Les anti-inflammatoires non stéroïdiens

CS : corn silk

ECBU : l'examen cytbactériologique des urines

ET : Écart-Type

GAE : Gallic Acid Equivalent

GC-MS : Chromatographie en Phase Gazeuse-Spectrométrie

HPLC : Chromatographie Liquide à Haute Performance

LC-MS : Chromatographie Liée à la Spectrométrie de Masse

LEC : La lithotritie extracorporelle par ondes de choc

NCCT : Non-Contrast Computed Tomography

NIDDK: National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases

O. ficus-indica : *Opuntia ficus-indica*

PCNL : Néphrolithotomie percutanée

pH : Potentiel Hydrogène

URS : Urétéroscopie

Z. mays : *Zea mays*

Introduction générale

Introduction générale

La lithiase urinaire est une affection fréquente de l'appareil urinaire caractérisée par la formation de calculs dans les voies urinaires (Allam, 2024). Elle représente un problème de santé important en raison de sa fréquence élevée, de son caractère récidivant et des complications qu'elle peut engendrer chez les patients. Plusieurs facteurs tels que l'alimentation, les troubles métaboliques, les infections urinaires et la prédisposition génétique peuvent favoriser l'apparition de cette pathologie (Allam, 2024 ; Moulessehoul et Harrache, 2024).

La prise en charge de la lithiase urinaire repose sur des mesures préventives, des traitements pharmacologiques ainsi que des techniques chirurgicales adaptées à la nature et à la localisation des calculs. Malgré les progrès thérapeutiques réalisés, le recours aux plantes médicinales suscite un intérêt croissant en raison de leur utilisation traditionnelle et de leur potentiel dans la prévention et la gestion de cette affection (Allam et Sabra, 2024 ; Sharma *et al.*, 2025). Parmi les plantes les plus étudiées figurent stigmate de maïs (*Zea mays* L.) et le figuier de Barbarie (*Opuntia ficus-indica*), qui sont traditionnellement utilisés dans plusieurs pays pour la prise en charge des troubles urinaires et des lithiases. Des études expérimentales ont souligné l'importance de ces plantes dans les recherches sur la dissolution des calculs urinaires (Meiouet *et al.*, 2011 ; Moulessehoul et Harrache, 2024).

Dans ce contexte, que ntre travail s'inscrit sur l'étude phytochimique d'*Opuntia ficus-indica* et *Zea mays* L et l'évaluation de l'activité litholitique des différents extraits de ces espèces sur les calculs de phosphate et cystine.

Le présent travail comporte une partie théorique qui comprend trois chapitres dont :

- ✓ ***le premier donne des généralités sur la lithiase urinaire,***
- ✓ ***le second se focalise sur les plantes médicinales et la phytothérapie***
- ✓ ***le troisième chapitre inclut un aperçu général sur les espèces étudiées .***

La partie pratique est consacrée en premier lieu à l'étude phytochimique des extraits de la soie de maïs (*Zea mays* L.) et des fleurs d' *Opuntia ficus-indica* à travers la mise en évidence des principaux métabolites secondaires, et en second lieu, elle s'intéresse à l'évaluation de l'activité litholytique in vitro qui vise à évaluer l'effet de ces extraits sur la dissolution de calculs

urinaires de cystine et de phosphate par le suivi de la variation de leur masse et le pH pendant une période de 27 jours.

La troisième partie synthétise l'ensemble des résultats obtenus suivie par une discussion générale, aboutissant à une conclusion et perspectives

Partie I

Partie bibliographique

Chapitre I

Généralités sur la lithiase urinaire

I.1. Définition

La lithiase urinaire, ou urolithiase, est une pathologie caractérisée par la présence d'un ou de plusieurs calculs dans les voies urinaires. Ces calculs résultent de la cristallisation et de l'agrégation de substances minérales et organiques contenues dans l'urine lorsque celle-ci devient sursaturée en éléments lithogènes (**Kachkoul *et al.*, 2023**).

Les calculs peuvent se développer au niveau des reins, des uretères, de la vessie ou de l'urètre. Leur composition chimique est variable, les plus fréquents étant les calculs calciques (oxalate et phosphate de calcium), suivis des calculs d'acide urique, de struvite et de cystine (**Tamborino *et al.*, 2024**).

La formation des calculs urinaires est un processus complexe impliquant plusieurs étapes, notamment la sursaturation urinaire, la nucléation, la croissance cristalline, l'agrégation des cristaux et leur rétention dans les voies urinaires. Cette pathologie est influencée par de nombreux facteurs tels que l'alimentation, les anomalies métaboliques, les infections urinaires, les facteurs environnementaux et les prédispositions génétiques (**Allam, 2024 ; Tamborino *et al.*, 2024**).

En raison de sa fréquence élevée et de son taux de récurrence important, la lithiase urinaire constitue aujourd'hui un problème majeur de santé publique nécessitant des stratégies efficaces de prévention et de prise en charge thérapeutique (**Bargagli *et al.*, 2025**).

I.2. Historique

La lithiase urinaire est une pathologie connue depuis l'antiquité. Le plus ancien calcul vésical identifié remonte à environ 4800 ans avant Jésus-Christ ; il a été découvert dans la momie d'un habitant de la Haute-Egypte, ce qui confirme l'ancienneté de cette affection (**Daudon, 2001**).

À la fin du 18^e siècle, l'oxalate de calcium avait été identifié, mais il ne semblait pas être un composant important à cette époque, alors que l'acide urique et les phosphates de calcium et de magnésium prédominaient dans les calculs. Au XIX^{ème} siècle, comme dans les pays non industrialisés du XX^{ème} siècle, la lithiase dans les populations de faible statut socio-économique était fréquente et touchait principalement les jeunes hommes. Ces calculs sont principalement localisés dans la vessie et leur composition reflète à la fois une mauvaise hygiène et une alimentation basée essentiellement sur les céréales et les légumes, souvent

déficiente en phosphore et en protéines animales, et caractérisée par une prépondérance de l'urate d'ammonium et des phosphates de calcium et de magnésium.

Au contraire, la lithiase dans les populations de niveau socio-économique élevé, vivant dans de meilleures conditions sanitaires et bénéficiant d'une alimentation plus diversifiée, touche essentiellement les adultes, est principalement localisée dans le rein et l'oxalate de calcium en est généralement le principal composant (**Daudon, 2005**).

A la fin du 20^{ème} siècle, même dans les pays en voie de développement, la lithiase urinaire est devenue la principale composante de l'oxalate de calcium dans le rein.

Actuellement, la fréquence de la lithiase rénale ne cesse d'augmenter, son évolution se poursuit au niveau mondial et va dans le sens d'une prépondérance de plus en plus marquée de l'oxalate de calcium (**Mokhtari et Bourane, 2021**).

I.3. Epidémiologie de la lithiase urinaire

La lithiase urinaire représente désormais un défi majeur de santé publique, sa prévalence ne cessant d'augmenter au fil des ans (**Tefekli et Cezayirli, 2013 ; Raja et al., 2020**).

Cette hausse est attribuée à plusieurs facteurs, notamment la croissance démographique mondiale, la progression de l'obésité et du diabète, ainsi que l'évolution des habitudes alimentaires (telle qu'une consommation accrue de protéines animales, de sel et de sucres raffinés, au détriment des aliments d'origine végétale et des fibres). Ces taux de prévalence varient d'un pays à l'autre ; en Europe, la proportion de personnes touchées au sein de la population se situe autour de 9 %, selon les pays (**Sorokin et al., 2017**).

En 1987, une étude réalisée en Suède montrait une prévalence de 19% chez l'homme de 60 ans. En Allemagne, la prévalence globale a augmenté de 17,5% entre 1980 et 2001 (la lithiase touchant 9,7% des hommes et 6% des femmes entre 50 et 64 ans, en 2001) (**Hesse, 2003**).

En Belgique, la prévalence atteignait 12% chez l'homme et 5% chez la femme en 1995 ; en Italie, 10,1% des hommes et 5,8% des femmes étaient concernés en 1998. En France, d'après les études réalisées en 1994, la prévalence était de 13,6% chez les hommes et de 7,6% chez les femmes, entre 45 et 60 ans (**Daudon et al., 2023**).

En 2022, elle était estimée à 10% de la population globale (8). En Grande-Bretagne et en Espagne, les prévalences étaient moins élevées : 3,8% (en 1987) et 5,1% (en 2007) respectivement (**Hesse, 2003 ; Sorokin et al., 2017 ; Daudon et al., 2023**). Aux Etats-Unis, la prévalence globale est de 8,8% sur la période 2007-2010, avec une prédominance masculine.

En effet, 10,6% des hommes et 7,1% des femmes sont concernés par la lithiase. Il a également été remarqué une différence selon l'âge : entre 20 et 29 ans, la lithiase concernait environ 3,4% dans les deux sexes, tandis qu'entre 60 et 69 ans, 19% des hommes et 9,4% des femmes rapportaient des antécédents lithiasiques (**Sorokin et al., 2017**).

En Amérique du Sud, les données sont rares, cependant une étude réalisée en Argentine en 1998 rapporte que 4,4% des hommes et 3,6% des femmes avaient des antécédents lithiasiques, et que la prévalence augmentait avec l'âge dans les deux sexes, passant de 2,75% entre 20 et 39 ans à 7,8% après 60 ans. Au Moyen-Orient, peu d'études ont été réalisées. Chez l'adulte, des données récentes ont toutefois montré une prévalence globale entre 5,2 et 8,2% en Iran en 2012, de 11% en Turquie en 2011, et encore plus élevée en Arabie Saoudite (20% chez les hommes) d'après une étude publiée en 1994 (**Sorokin et al., 2017**).

L'Asie, qui est un vaste continent, amène à une grande diversité de profils lithiasiques selon les régions. En Inde, la prévalence a été estimée entre 3 et 6% en 2012 (sous-estimée car basée sur le nombre d'hospitalisations pour lithiase urinaire), avec un rapport hommes/femmes (H/F) de. En Chine, nous n'avons pas de données épidémiologiques globales à l'échelle nationale, néanmoins il apparaît que la prévalence à l'extrême Sud du pays, estimée à 4,9%, soit deux fois plus élevée qu'au Nord d'après une étude de 2012. En Corée, la prévalence globale de la lithiase est estimée à au moins 10% chez les adultes en 2014, avec un rapport H/F de 1,8, tandis qu'au Japon, elle serait de 15,1% chez l'homme et 6,8% chez la femme en 2012 (**Liu et al., 2018**).

En Afrique, la prévalence de la lithiase n'est pas connue. Les principales informations concernant la composition des calculs, ainsi que l'observation d'une importante différence dans la fréquence de la lithiase selon la race noire ou blanche des sujets. Cela a été démontré en Afrique du Sud en 1937, où une étude constate la rareté des calculs dans la population noire, puis de nouveau retrouvé dans une autre étude dans les années 1950 (**Hesse, 2003**).

En Algérie, une série de 360 puis de 1354 calculs urinaires de l'adulte provenant de quatre grandes villes de l'ouest algérien a été étudiée. La fréquence de la lithiase vésicale est élevée puisqu'elle représente 45,5% des calculs d'origine masculine traités neurologiquement ; Il ressort de l'analyse des données que la lithiase urinaire dans l'Ouest algérien a tendance à évoluer dans le même sens que celle des pays industrialisés. Toutefois, les infections urinaires restent une cause fréquente de lithiase par rapport à d'autres études effectuées en Europe (**Djelloul et al., 2006 ; Hannache, 2014**).

I.4. La Lithogenèse

La lithogenèse désigne l'ensemble des mécanismes menant à la formation des calculs urinaires. Elle comprend deux phases :

- a) **Cristallogénèse** : apparition de cristaux à partir de substances dissoutes, phénomène physiologique en soi.
- b) **Calculogénèse** : rétention et croissance de ces cristaux dans les voies urinaires, pouvant entraîner la formation de calculs. Certaines maladies sont directement associées à la nature des cristaux formés, comme la struvite dans les infections à germes uréiques, ou les cristaux de cystine dans la cystinurie (**Labouiz, 2025**).

I.4.1. Étapes de la lithogenèse

Le processus de formation des calculs peut être divisé en sept étapes qui se succèdent ou se chevauchent ; elles sont illustrées par la figure 1 et peuvent être décrites comme suit :

- a) **Sursaturation urinaire** : Accumulation excessive de solutés dans l'urine, dépassant leur seuil de solubilité, favorisant ainsi la formation de cristaux. Facteurs faible diurèse, alimentation, troubles métaboliques, infections, anomalies anatomiques, pH urinaire déséquilibré.
- b) **Germination cristalline** : Formation des premiers cristaux lorsque la sursaturation atteint un seuil critique. Deux types :
- c) **Nucléation homogène** : Formation spontanée de cristaux d'une seule espèce.
- d) **Nucléation hétérogène** : cristallisation favorisée par la présence d'autres cristaux, entraînant des calculs mixtes.
- e) **Croissance cristalline** : Augmentation progressive de la taille des cristaux par fixation de nouvelles molécules, pouvant conduire à des particules plus volumineuses dans la vessie.
- f) **Agrégation cristalline** : Association rapide des cristaux sous l'effet des forces électrostatiques, formant des particules pouvant être retenues dans les voies urinaires.
- g) **Agglomération cristalline** : Stabilisation du calcul par fixation de macromolécules urinaires (protéines), contribuant à sa structure et à sa résistance.
- h) **Rétention des cristaux** : Fixation ou blocage des cristaux dans le rein ou les voies urinaires.
 - **Adhésion à l'épithélium tubulaire** : Interaction avec les cellules rénales, pouvant provoquer leur apoptose.

- **Rétention obstructive** : Blocage des cristaux dans le néphron, fréquent dans certaines maladies rénales.
- **Rétention par stagnation** : Accumulation des cristaux dans des zones où l'urine circule mal.
- i) **Croissance du calcul** : Dépend de la cause de la sursaturation. Les calculs peuvent être intermittents (alimentaires), continus (génétiques) ou mixtes.
- j) **Conversion cristalline** : Transformation de la composition des calculs sous l'effet des variations biochimiques urinaires, souvent par déshydratation.

Ces étapes successives expliquent la formation et l'évolution des calculs urinaires, influencés par les conditions physiopathologiques du patient (Labouiz, 2025).

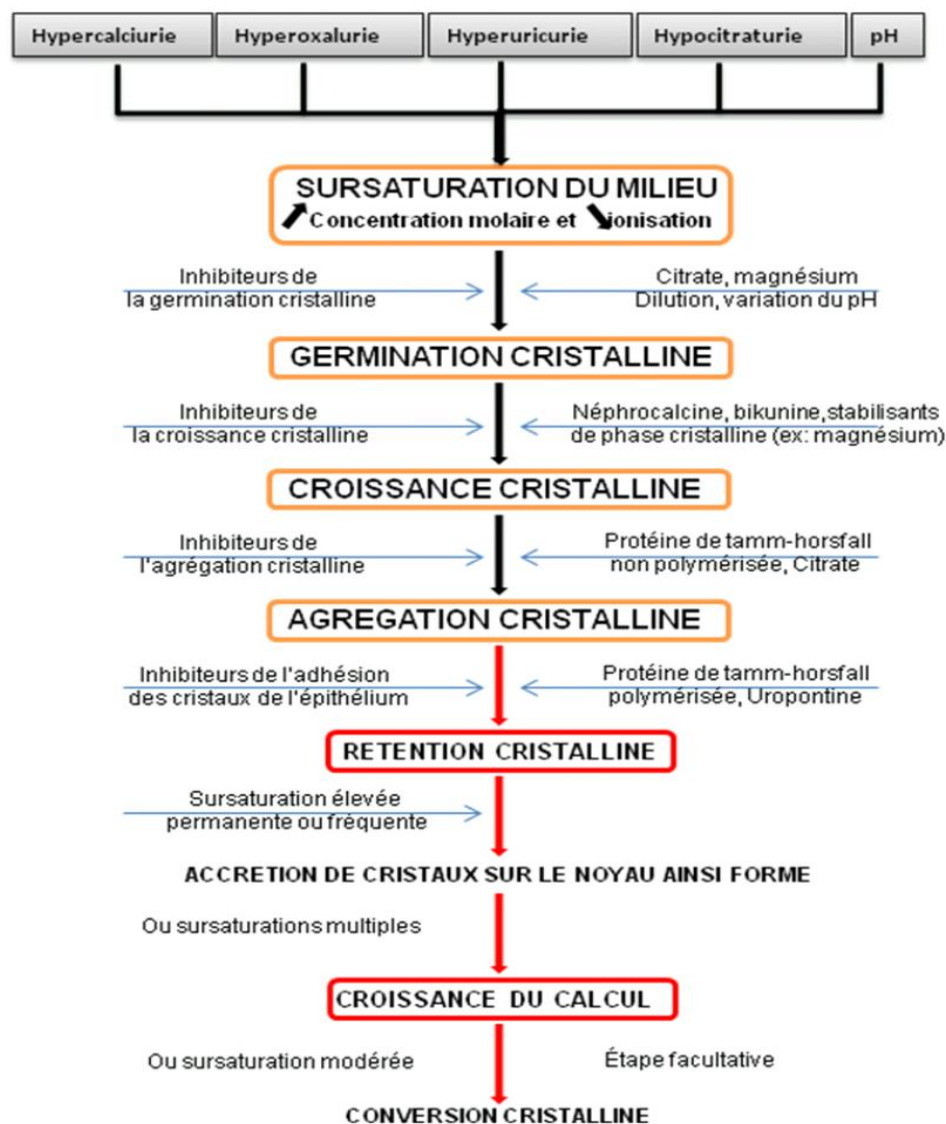


Figure 1: Les étapes de la lithogénèse (Senouci et Benlakehal, 2023)

I.4.2. Composition chimique des calculs urinaires

Les calculs urinaires présentent, dans la majorité des cas, une composition chimique mixte, résultant de l'association de plusieurs espèces cristallines. L'analyse de leur composition constitue une étape importante dans la compréhension des mécanismes de formation de la lithiase urinaire ainsi que dans l'orientation de la prise en charge thérapeutique (**Toumi, 2018**).

D'après une étude réalisée par **Daudon** entre 2001 et 2004 sur 51747 calculs urinaires, La composition des calculs est classée selon leur constituant principal, comme l'indique le tableau suivant (Tableau 1).

Tableau 1 : Répartition des principaux constituants des calculs urinaires (adapté d'après les travaux de Daudon (2001, 2004).

Type de calcul	Sous-type principal	Fréquence (%)
Oxalate de calcium	Whewellite (oxalate de calcium monohydraté)	50,7%
Oxalate de calcium	Weddellite (oxalate de calcium dihydraté)	21,1%
Total d'oxalate de calcium	—	71,8%
Phosphate de calcium	Carbapatite	11,4%
Phosphate de calcium	Brushite	1,5%
Total de phosphate de calcium	—	13,6%
Acide urique	—	10,8%
Struvite	—	1,3%
Cystine	—	0,9%
Autre constituants	Protéines, médicaments et métabolites rares	1,6%

Les données rapportées dans la littérature montrent que les calculs à base d'oxalate de calcium sont les plus fréquents, représentant plus des deux tiers des cas observés. Les calculs phosphocalciques occupent la deuxième place, tandis que les calculs d'acide urique sont également relativement fréquents. En revanche, les calculs de struvite et de cystine demeurent beaucoup moins représentés. Par ailleurs, une faible proportion de calculs est constituée d'autres substances, notamment certains médicaments, protéines ou métabolites rares.

I.5. Facteurs de risque des lithiases urinaires

La lithiase urinaire est une affection multifactorielle dont l'apparition est influencée par plusieurs facteurs. Une hydratation insuffisante constitue l'un des principaux facteurs de risque, car elle favorise l'augmentation de la concentration des substances lithogènes dans les urines (**Bargagli *et al.*, 2025**).

Les habitudes alimentaires jouent également un rôle important. Une consommation excessive de sel, de protéines animales et d'aliments riches en oxalate peut favoriser la formation des calculs urinaires (**Tamborino *et al.*, 2024**).

Les troubles métaboliques tels que l'hypercalciurie, l'hyperoxalurie, l'hyperuricosurie et la cystinurie sont fréquemment associés au développement des lithiases urinaires (**Allam, 2024**). Par ailleurs, certaines infections urinaires causées par des bactéries productrices d'uréase peuvent favoriser la formation de calculs infectieux, notamment les calculs de struvite (**Kachkoul *et al.*, 2023**).

D'autres facteurs tels que les antécédents familiaux, l'obésité, le diabète, certaines maladies rénales ainsi que les conditions climatiques chaudes sont également impliqués dans l'augmentation du risque de lithiase urinaire (**Bargagli *et al.*, 2025 ; Tamborino *et al.*, 2024**).

I.6. Etiologie de lithiase urinaire

La formation des calculs rénaux (calculogénèse) est un processus complexe et multifactoriel comprenant des facteurs intrinsèques (tels que l'âge, le sexe et l'hérédité) et extrinsèques (tels que la géographie, le climat, l'alimentation, la composition minérale et l'apport hydrique) (**Alelign et Petros, 2018**).

I.7. Symptômes de lithiase urinaire

Les lithiases urinaires se traduisent principalement par des symptômes douloureux, notamment la colique néphrétique. C'est une douleur lombaire sévère, survenue de façon soudaine, souvent d'un seul côté, qui peut irradier vers la zone inguinale et les organes reproducteurs. Cette douleur est habituellement forte et se manifeste par des accès, en rapport avec le déplacement du calcul dans les voies urinaires (**Hughes *et al.*, 2020**).

De plus, l'hématurie est un symptôme souvent lié, qu'elle soit visible à l'œil nu ou détectable uniquement par microscope. Des problèmes urinaires peuvent aussi être présents,

comme la pollakiurie, la dysurie et des douleurs lors de la miction, surtout si le calcul se trouve dans la partie distale de l'uretère ou à l'intérieur de la vessie (**Scales et al., 2021**).

D'autres symptômes cliniques peuvent coexister avec ce tableau, tels que les vomissements et les nausées, fréquemment dus à l'intensité de la douleur. Le patient peut aussi montrer une agitation typique, associée à l'inconfort important causé par la colique néphrétique (**Fwu et al., 2022**).

Enfin, certains symptômes doivent être pris en compte comme des indicateurs, notamment la présence de fièvre ou de frissons, pouvant suggérer une infection urinaire sous-jacente. Dans les formes complexes, on peut constater une obstruction totale avec une réduction, voire absence d'émission urinaire, situation nécessitant une intervention urgente (**Hughes et al., 2020**).

I.8. Diagnostic des lithiases urinaires

Le diagnostic de la lithiase urinaire repose sur une approche combinant les données cliniques, biologiques et radiologiques. Cette démarche permet de confirmer la présence des calculs urinaires, de déterminer leur localisation, leur taille et leur composition, afin d'orienter la stratégie thérapeutique la plus appropriée (**Skolarikos et al., 2024**).

L'évaluation clinique débute par un interrogatoire portant sur les symptômes, les antécédents personnels et familiaux de lithiase urinaire, les habitudes alimentaires ainsi que les facteurs de risque. L'examen clinique recherche principalement une douleur lombaire, une hématurie, des signes d'infection ou une obstruction des voies urinaires (**Tamborino et al., 2024**).

Le bilan biologique comprend l'analyse des urines, notamment l'examen cyto bactériologique des urines (ECBU), la mesure du pH urinaire ainsi que la recherche d'une cristallurie. Des analyses sanguines, incluant la créatinine, le calcium, l'acide urique et les électrolytes, sont également recommandées afin d'évaluer la fonction rénale et d'identifier d'éventuels troubles métaboliques (**Skolarikos et al., 2024**).

L'imagerie représente une étape essentielle du diagnostic. L'échographie est généralement l'examen de première intention en raison de son caractère non invasif et de l'absence d'irradiation. Toutefois, la tomodensitométrie sans injection (NCCT : Non-Contrast Computed Tomography) demeure la méthode de référence pour la détection des calculs

urinaires grâce à sa sensibilité et à sa spécificité élevées (Dell'Aversana *et al.*, 2025 ; Skolarikos *et al.*, 2024).

I.9. Traitement de la lithiase urinaire

I.9.1. Traitement préventif de la lithiase urinaire

Les mesures hygiéno-diététiques, qui visent à réduire la sursaturation de l'urine et à réduire le risque de récurrence des calculs, sont principalement mises en place pour prévenir la formation des calculs rénaux. La prévention des calculs urinaires repose sur l'optimisation des facteurs métaboliques et la diminution de la sursaturation des éléments lithiasiques. Un traitement médicamenteux peut être envisagé pour les patients présentant un risque élevé de récurrence (Spradling *et al.*, 2022).

Dans ce contexte, l'hyperhydratation représente l'une des mesures préventives les plus importantes. Une consommation hydrique suffisante permettant d'obtenir un volume urinaire supérieur à 2 à 2,5 litres par jour réduit significativement le risque de récurrence lithiasique, en diminuant la concentration des substances lithogènes et la cristallisation urinaire (Dai et Pearle, 2022).

Par ailleurs, la prévention nutritionnelle joue également un rôle majeur dans la prise en charge préventive de la lithiase urinaire. Un régime pauvre en sodium, modéré en protéines animales, associé à un apport calcique normal permet de réduire le risque de formation des calculs urinaires. Il n'existe pas de régime unique, mais des recommandations adaptées selon le type de lithiase et le profil métabolique du patient (Dai et Pearle, 2022).

I.9.2. Traitement pharmacologique des lithiases cystiniques et phosphatées

Le traitement médical des lithiases urinaires varie en fonction du type de calcul. Pour les lithiases cystiniques et les lithiases phosphatées infectieuses, l'objectif principal est de diminuer la formation de calculs et d'anticiper les récurrences. Les lithiases cystiniques sont causées par une excrétion excessive de cystine dans les urines. L'alcalinisation des urines est l'une des principales stratégies thérapeutiques, car elle améliore la solubilité de la cystine et limite sa cristallisation (Bhatt *et al.*, 2024).

Si cette approche s'avère insuffisante, des médicaments thiolés comme la tiopronine ou la D-pénicillamine peuvent être prescrits. Ces traitements augmentent la solubilité de la cystine et aident à réduire tant la formation que les récurrences des calculs (Bhatt *et al.*, 2024).

Les lithiases phosphatées infectieuses sont associées à des infections urinaires causées par des bactéries productrices d'uréase. Leur prise en charge pharmacologique repose principalement sur une antibiothérapie adaptée afin de contrôler l'infection responsable de la croissance des calculs (Karki et Leslie, 2023).

Dans certains cas, l'acide acétohydroxamique peut être utilisé pour inhiber l'activité de l'uréase bactérienne et ralentir la croissance des calculs de struvite. Toutefois, son utilisation reste limitée en raison de ses effets indésirables potentiels (Meng, 2023 ; Rule *et al.*, 2023).

Ainsi, le traitement pharmacologique constitue un complément important dans la prise en charge des lithiases cystiniques et phosphatées, notamment pour réduire le risque de récurrence et améliorer le contrôle de la maladie. Pour la gestion de la douleur repose généralement sur une association de médicaments antalgiques et d'anti-inflammatoires. Une hospitalisation n'est envisagée que dans les cas où la douleur est intense ou en présence de complications telles qu'une pyélonéphrite ou une insuffisance rénale. Selon la situation, le traitement peut être soit médical, soit chirurgical. De nombreux médicaments sont actuellement administrés par voie orale ou parentérale. Toutefois, l'efficacité du phloroglucinol n'a pas été démontrée. Le paracétamol, seul ou combinaison avec le tramadol, peut être efficace pour des douleurs légères.

Cependant, le traitement privilégié reste aujourd'hui les anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS). Ces derniers exercent leur action en inhibant les cyclo-oxygénases responsables de la réaction inflammatoire. Ils contribuent ainsi à diminuer l'œdème local et à relaxer les fibres musculaires lisses de l'uretère. De plus, ils réduisent le débit de filtration glomérulaire, un effet sans conséquence notable en cas de fonction rénale normale.

I.9.3. Traitement chirurgical des lithiases cystiniques et phosphatées

Le traitement chirurgical est indiqué lorsque les lithiases cystiniques ou phosphatées sont responsables d'une obstruction des voies urinaires, d'une infection, de douleurs persistantes ou lorsque le traitement médical ne permet pas l'élimination des calculs (Skolarikos *et al.*, 2024)

a) Lithotripsie extracorporelle (LEC / ESWL)

La lithotritie extracorporelle par ondes de choc (LEC) est une technique non invasive qui fragmente les calculs urinaires à l'aide d'ondes de choc afin de faciliter leur élimination par les voies urinaires. Elle est principalement indiquée pour les calculs de petite taille. En revanche, son efficacité est limitée pour les calculs de cystine en raison de leur dureté et de leur faible friabilité (Skolarikos *et al.*, 2024 ; Sahota *et al.*, 2022).

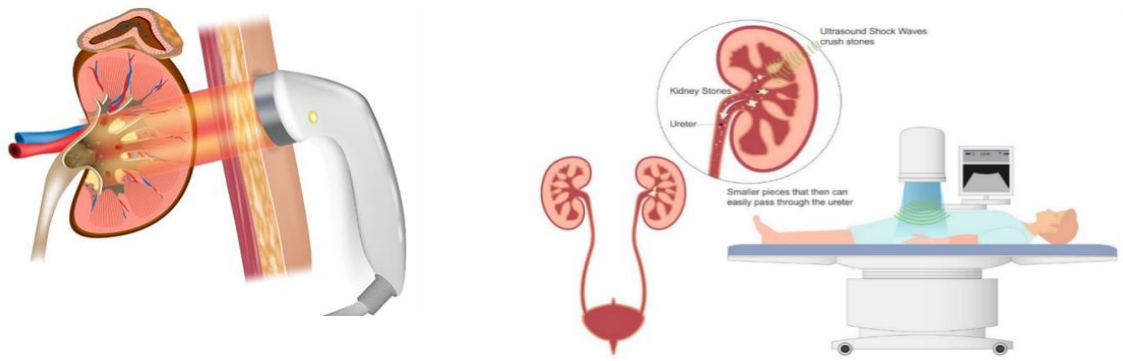


Figure 2: Lithotripsie extracorporelle (LEC) (National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases (NIDDK), 2023)

b) Urétéroscopie (URS)

L'urétéroscopie consiste à introduire un endoscope par les voies urinaires afin de visualiser le calcul et de le fragmenter, le plus souvent à l'aide d'un laser Holmium : YAG. Cette technique est recommandée pour les calculs urétéraux ainsi que pour certains calculs rénaux de petite ou moyenne taille. Elle constitue également une option efficace dans le traitement des lithiases cystiniques lorsque la LEC est insuffisamment efficace (Geraghty *et al.*, 2023 ; Skolarikos *et al.*, 2024).



Figure 3: (a) L'urétéroscopie rigide, (b) l'urétéroscopie souple (Chaabane, 2018 ; Julien *et al.*, 2020).

c) Néphrolithotomie

Néphrolithotomie percutanée (PCNL) est indiquée principalement pour les calculs rénaux volumineux ou complexes. Elle consiste à accéder directement au rein à travers la peau afin de retirer les calculs, et représente la technique de référence pour les formes coralliformes (Karki et Leslie, 2023).

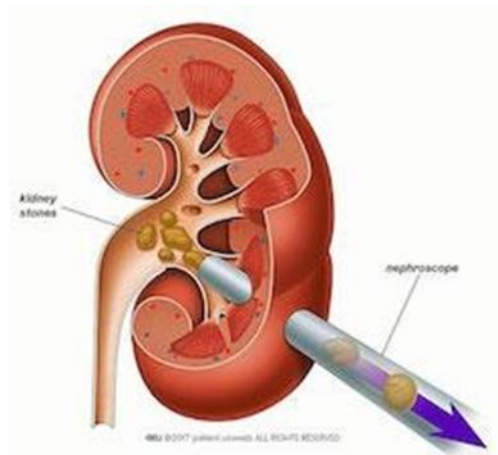


Figure 4: NLPC (Néphrolithtomie per-cutanée) (Chaabane, 2018).

I.9.4. Traitements par phytothérapie des lithiases urinaires

La phytothérapie est une approche complémentaire dans la prise en charge de la lithiase urinaire. Elle est principalement utilisée en prévention des récives et en association avec les traitements médicaux ou chirurgicaux. Son intérêt repose sur l'utilisation de plantes médicinales possédant des effets diurétiques et pouvant contribuer à limiter la formation des calculs urinaires (Tasheva *et al.*, 2023). Parmi les plantes les plus étudiées, la soie de maïs (*Z. mays*) est largement utilisée dans les études pharmacologiques. Les travaux disponibles montrent que ses extraits exercent un effet diurétique, augmentant le volume urinaire et réduisant ainsi la concentration des substances responsables de la formation des calculs (Singh *et al.*, 2022). De même, le figuier de Barbarie (*O. ficus-indica*) a fait l'objet de plusieurs études expérimentales. Les résultats indiquent une activité diurétique ainsi qu'un effet potentiel sur la réduction de la cristallisation urinaire, ce qui peut contribuer à limiter la formation des lithiases urinaires (Ben Salem *et al.*, 2021). Cependant, la phytothérapie ne constitue pas un traitement curatif. Elle est considérée comme une approche adjuvante utilisée en complément des traitements conventionnels afin de réduire le risque de récive des calculs urinaires (Tasheva *et al.*, 2023).

Chapitre II

Les plantes médicinales et la phytothérapie

II.1. Les plantes médicinales

Les plantes médicinales sont des plantes qui contiennent des composés biologiquement actifs dans un ou plusieurs de leurs organes et possèdent des propriétés thérapeutiques pouvant être utilisées pour la prévention, le traitement ou la prise en charge des maladies. Ces plantes constituent une source importante de produits naturels et ont joué un rôle fondamental dans les systèmes de santé traditionnels ainsi que dans la découverte et le développement des médicaments modernes (Ali *et al.*, 2021).

On appelle plante médicinale toute plante renfermant un ou plusieurs principes actifs capables de prévenir, soulager ou guérir des maladies. A cause de leurs propriétés préventives ou curatives elles sont présentées à l'égard des maladies humaines ou animales (Chabrier, 2010).

II.2. Origine des plantes médicinales

L'usage des plantes médicinales trouve ses origines dans la préhistoire. Les données archéologiques révèlent que les populations humaines utilisaient déjà certaines plantes à des fins thérapeutiques il y a près de 60 000 ans. Au cours du temps, les savoirs relatifs à leurs propriétés médicinales ont été transmis de génération en génération, constituant ainsi le fondement des systèmes de médecine traditionnelle développés par de nombreuses civilisations, notamment celles de l'Égypte ancienne, de la Chine, de l'Inde et de la Grèce. (Maridass *et al.*, 2008 ; Petrovska, 2012).

II.2.1. Les plantes spontanées

On appelle plantes spontanées l'ensemble des plantes qui ne sont pas intentionnellement plantées par l'être humain et qui ne correspondent pas à des reliques d'habitats naturels, mais qui s'installent d'elles-mêmes dans les milieux anthropisés (Ilie, 2023). On peut énumérer certaines des caractéristiques qui y sont associées.

- Ces plantes colonisent des milieux urbains variés : fentes de trottoirs, murs, friches, parcs, berges, etc., souvent des sites perturbés (Nadchawan *et al.*, 2025 ; Gao *et al.*, 2021).
- Elles sont fréquemment qualifiées de “mauvaises herbes”, plantes rudérales ou auto-semées, mais sont aussi reconnues pour leur rôle dans la biodiversité urbaine et des

services écosystémiques (refuge pour la faune, régénération écologique, etc.). (Kevin *et al.*, 2021 ; Nadchawan *et al.*, 2025).

II.2.2. Les Plantes cultivées

Les plantes cultivées désignent les espèces végétales sélectionnées et entretenues par l'être humain afin d'obtenir des produits destinés à l'alimentation, aux usages médicaux, industriels ou économiques. Leur culture repose sur des pratiques agricoles visant à contrôler les conditions de croissance afin d'améliorer le rendement, la qualité et l'adaptation aux besoins humains. Contrairement aux plantes sauvages, elles font généralement l'objet d'une sélection et d'une gestion agronomique spécifiques (Martins *et al.*, 2023).

II.3. La Phytothérapie

Le mot « phytothérapie se compose étymologiquement de deux racines grecques : "Photon" et "thérapie" qui signifie respectivement "plante" et "traitement" (Vacheron, 2010).

La phytothérapie se réfère à l'emploi de plantes médicinales et de leurs dérivés dans un but préventif ou curatif. Cette méthode se base sur l'utilisation de matériaux d'origine végétale ou d'extraits renfermant des composés biologiques actifs susceptibles d'ajouter à l'effet thérapeutique noté.

Il est possible d'obtenir des préparations phytothérapeutiques à partir de diverses parties de la plante, y compris les feuilles, les fleurs, les racines, les graines ou les fruits. On utilise ces préparations de diverses manières, y compris sous forme d'infusions, de décoctions, d'extraits fluides, d'extraits secs ou de préparations standardisées.

Des études scientifiques actuelles démontrent que la phytothérapie s'inscrit désormais dans une démarche basée sur l'analyse de la qualité des composants végétaux, de leur composition chimique et de leurs caractéristiques biologiques. L'activité des préparations à base de plantes est souvent liée à la présence de substances actives comme les alcaloïdes, les composés phénoliques, les flavonoïdes et les terpènes.

L'usage de produits phyto-thérapeutiques nécessite aussi un contrôle qualité rigoureux des matières premières végétales pour garantir leur stabilité et leur adéquation aux applications thérapeutiques (Zimmermann-Klemd *et al.*, 2022 ; Vitale *et al.*, 2022 ; Carmo *et al.*, 2022).

II.4. Les principes actifs et les métabolites secondaires des plantes médicinales

Les principes actifs désignent les composés chimiques à l'origine des effets biologiques et thérapeutiques observés dans les plantes à fins médicinales. Ces composants sont principalement des métabolites secondaires, qui sont des molécules générées par les plantes sans contribuer directement aux fonctions vitales telles que la croissance ou la reproduction, mais qui jouent un rôle dans les processus de défense, d'adaptation et d'interaction avec l'environnement.

Les composés utilisés dans les secteurs pharmaceutique, alimentaire et thérapeutique proviennent en grande partie des métabolites secondaires. Plusieurs éléments liés aux conditions écologiques, au développement physiologique de la plante et aux conditions de culture influencent leur synthèse.

Les principaux groupes de métabolites secondaires comprennent :

II.4.1. Les composés phénoliques

Les métabolites secondaires présents dans les plantes sont souvent représentés par une famille significative de composés phénoliques. Ces derniers présentent la particularité d'avoir un ou plusieurs groupements hydroxyles attachés à un noyau aromatique, et se trouvent en abondance dans le monde végétal (**Dias *et al.*, 2021**). Plusieurs types de composés sont regroupés au sein de cette famille, y compris les acides phénoliques, les flavonoïdes, les tanins, les lignanes et les stilbènes. Cette variété de molécules rend compte de l'abondance de composants phytochimiques que l'on peut observer dans de nombreuses espèces végétales (**Shahidi et Yeo, 2018 ; Dias *et al.*, 2021**).

Les composés phénoliques sont couramment identifiés et caractérisés en utilisant des méthodes analytiques comme la chromatographie liquide à haute performance (HPLC) et la chromatographie associée à la spectrométrie de masse (LC-MS), souvent utilisées dans les recherches phytochimiques actuelles (**Dias *et al.*, 2021**).

En raison de leur diversité structurale et de leur présence abondante dans les végétaux, les composés phénoliques sont l'objet d'études approfondies visant à éclaircir leur composition et leur distribution au sein des plantes médicinales (**Shahidi et Yeo, 2018 ; Dias *et al.*, 2021**).

II.4.2. Les flavonoïdes

Les flavonoïdes constituent l'une des principales classes de composés phénoliques présentes dans les végétaux. Ce sont des métabolites secondaires largement distribués dans les différentes parties des plantes, notamment les feuilles, les fleurs, les fruits et les graines (**Dias et al., 2021**).

Sur le plan chimique, les flavonoïdes possèdent une structure de base constituée de deux noyaux aromatiques reliés par une chaîne de trois atomes de carbone formant généralement un hétérocycle oxygéné. Cette structure est communément désignée par le squelette C₆-C₃-C₆ (**Panche et al., 2016**).

Les flavonoïdes regroupent plusieurs sous-classes, parmi lesquelles les flavones, les flavonols, les flavanones, les flavanols, les anthocyanes et les isoflavones. Cette diversité structurale explique le grand nombre de flavonoïdes identifiés dans les espèces végétales étudiées (**Dias et al., 2021 ; Panche et al., 2016**).

L'identification des flavonoïdes est généralement réalisée à l'aide de méthodes analytiques telles que la chromatographie liquide à haute performance (HPLC) et la chromatographie couplée à la spectrométrie de masse (LC-MS), largement utilisées dans les études phytochimiques récentes. En raison de leur diversité et de leur abondance dans les végétaux, les flavonoïdes occupent une place importante dans les recherches consacrées à la composition phytochimique des plantes médicinales (**Dias et al., 2021**).

a) Les acides phénoliques

Les acides phénoliques constituent l'une des principales classes de composés phénoliques présentes dans le règne végétal. Ils sont largement distribués dans les plantes et représentent une part importante des métabolites secondaires d'origine végétale (**Heleno et al., 2015 ; Dias et al., 2021**).

Sur le plan chimique, les acides phénoliques sont caractérisés par la présence d'un noyau aromatique portant au moins un groupement hydroxyle et une fonction acide carboxylique. Ils sont généralement classés en deux grandes catégories : les dérivés de l'acide hydroxy benzoïque et les dérivés de l'acide hydroxy cinnamique (**Dias et al., 2021**).

La teneur en acides phénoliques varie selon l'espèce végétale, l'organe étudié, les conditions environnementales ainsi que les méthodes d'extraction utilisées. Leur identification est généralement réalisée par des techniques chromatographiques telles que la chromatographie liquide à haute performance (HPLC) et la chromatographie couplée à la spectrométrie de masse (LC-MS) (Shahidi et Yeo, 2018 ; Dias *et al.*, 2021).

En raison de leur diversité structurale et de leur large distribution dans le règne végétal, les acides phénoliques occupent une place importante dans les études phytochimiques et constituent l'un des groupes de composés les plus étudiés dans les plantes médicinales (Dias *et al.*, 2021).

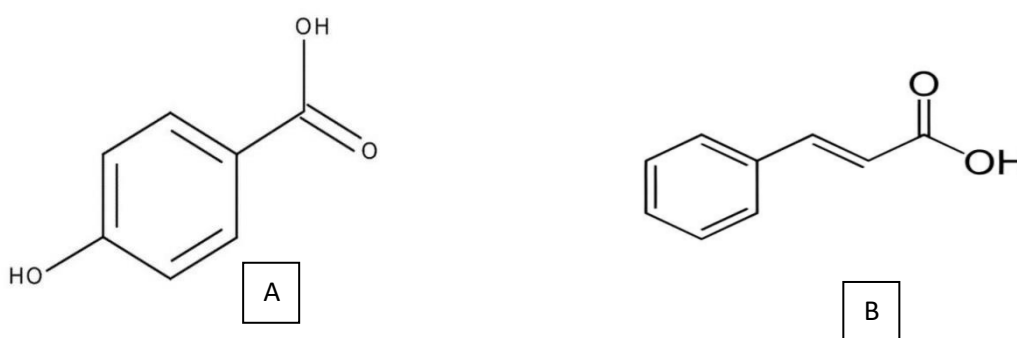


Figure 5: Structure de base : (A) Acides benzoïque ; (B) Acides cinnamique (Bruneton, 2009).

b) Les coumarines

Les coumarines sont des dérivés benzopyrones très répandus dans les plantes, certains champignons et bactéries, faciles à modifier chimiquement, et dotés d'une grande diversité d'activités biologiques et d'usages thérapeutiques (Annunziata *et al.*, 2020 ; Elmusa *et al.*, 2025). Les coumarines et leurs dérivés montrent notamment :

- Anticoagulant (Garg *et al.*, 2020).
- Anticancéreux / antiprolifératif / Antioxydant et anti inflammatoire (Hussain *et al.*, 2024).
- Neuroprotecteur / anti Alzheimer (Sharifi Rad *et al.*, 2021 ; Elmusa *et al.*, 2025).
- Autres : antimicrobien, antiviral, antidiabétique, antihypertenseur, hépatoprotecteur, antidépresseur potentiel

c) Tanins

Les tanins sont des composés phénoliques secondaires d'origine végétale, solubles dans l'eau, capables de se lier aux protéines et à d'autres macromolécules. Ils sont largement présents dans diverses parties des plantes, notamment les feuilles, les écorces, les fruits et les graines, et jouent un rôle important dans les mécanismes de défense des végétaux contre les agents pathogènes et les herbivores. Les tanins sont reconnus pour leurs nombreuses propriétés biologiques, notamment antioxydantes, antimicrobiennes, anti-inflammatoires et astringentes (Hagerman, 2011).

d) Quinones

Les quinones sont des composés organiques appartenant aux métabolites secondaires des plantes, caractérisés par la présence d'un noyau aromatique portant deux fonctions carbonyles. Elles sont largement distribuées dans le règne végétal et interviennent dans divers processus biologiques. Les quinones sont reconnues pour leurs nombreuses activités pharmacologiques, notamment leurs propriétés antimicrobiennes, antioxydantes, antifongiques, antivirales et antitumorales (Cowan, 1999).

II.4.3. Les alcaloïdes

Les alcaloïdes constituent une famille de composés naturels dont la notion est apparue au début du XIX^e siècle. Le terme « alcaloïde » dérive du mot alcali, signifiant « base », associé au suffixe-oïde, qui exprime l'idée de ressemblance. En raison de leur grande diversité structurale et biologique, il demeure difficile de leur attribuer une définition unique et universelle (Djama *et al.*, 2020).

Les alcaloïdes sont des composés organiques naturels, principalement d'origine végétale, contenant un ou plusieurs atomes d'azote dans leur structure chimique. Ils présentent généralement un caractère basique et possèdent le plus souvent une structure hétérocyclique. Les alcaloïdes constituent un groupe important de métabolites secondaires et sont reconnus pour leurs activités biologiques et pharmacologiques observées même à faible concentration (Ferreira, 2022)

➤ Classification des alcaloïdes

Depuis leur identification, plus de 10 000 alcaloïdes ont été isolés ou mis en évidence chez les végétaux, les animaux et certains micro-organismes. La grande diversité de leurs structures chimiques et de leurs propriétés biologiques rend leur classification particulièrement complexe (Hesse, 2002).

Selon Dewick, (2002) et Eguchi *et al.*, (2017), l'étude du squelette moléculaire des alcaloïdes constitue un élément essentiel pour comprendre leurs relations structurales et leurs mécanismes de biosynthèse. Ainsi, la classification la plus utilisée repose sur leur origine biogénétique, c'est-à-dire sur la nature de leurs précurseurs biosynthétiques. Cette approche distingue trois catégories principales :

- Les alcaloïdes vrais ;
- Les proto-alcaloïdes ;
- Les pseudo-alcaloïdes.

D'après Muniz (2006), l'atome d'azote présent dans la majorité des alcaloïdes provient d'un acide aminé dont le squelette carboné est généralement conservé au cours de la biosynthèse. Toutefois, certains alcaloïdes sont formés à partir de précurseurs non aminés ; dans ce cas, l'azote est incorporé ultérieurement à travers des réactions impliquant des intermédiaires tels que les aldéhydes ou les cétones.

a) Les alcaloïdes vrais

Les véritables alcaloïdes représentent une catégorie de métabolites secondaires azotés qui sont naturellement générés par diverses espèces de plantes à vertus médicinales. Leur distinction majeure est leur provenance biosynthétique issue directement des acides aminés, ainsi que la présence de l'atome d'azote dans une structure hétérocyclique. La biosynthèse des véritables alcaloïdes nécessite divers précurseurs métaboliques, notamment la lysine, l'ornithine, la tyrosine, le tryptophane, et la phénylalanine. Sur la base de ces composés de départ, les plantes élaborent diverses trajectoires métaboliques qui mènent à l'élaboration d'une vaste gamme structurale d'alcaloïdes.

Au sein des végétaux, les véritables alcaloïdes contribuent essentiellement aux processus naturels de défense contre les agents infectieux, les animaux herbivores et divers stress environnementaux. L'accumulation peut différer en fonction de l'espèce botanique, de la phase de croissance, des conditions météorologiques et des méthodes agronomiques. Des études récentes montrent que les alcaloïdes constituent l'un des ensembles les plus significatifs de composés bioactifs des plantes médicinales, du fait de leur diversité chimique et de leurs attributs biologiques (Twaij et Hasan, 2022 ; Kurek, 2022 ; Otálvaro *et al.*, 2023).

b) Les proto-alcaloïdes

Les proto-alcaloïdes correspondent à des composés dérivés des acides aminés mais dont l'atome d'azote ne fait pas partie d'un cycle hétérocyclique. Ils constituent une catégorie

intermédiaire entre les alcaloïdes vrais et les autres substances azotées présentes dans les plantes (Twaij et Hasan, 2022).

c) Les pseudo-alcaloïdes

Les pseudo-alcaloïdes sont des composés secondaires riches en azote, à la différence des véritables alcaloïdes, ils ne dérivent pas directement des acides aminés. Dans ces molécules, l'atome d'azote est intégré lors des phases avancées de la biosynthèse par des processus enzymatiques comme la transamination. On associe souvent leur formation aux voies métaboliques qui assurent la synthèse de terpènes, de stéroïdes ou d'autres composés ne provenant pas directement des acides aminés.

Ainsi, l'attribution des pseudo-alcaloïdes est principalement basée sur leur provenance biosynthétique plutôt que sur leur composition chimique. Ces substances contribuent à la variété chimique des plantes et sont incluses parmi les métabolites secondaires synthétisés dans divers tissus végétaux (Ferreira, 2022).

II.4.4. Les terpénoïdes

Les terpénoïdes (ou isoprénoïdes) constituent une vaste classe de métabolites secondaires largement répandus dans le règne végétal. Ils dérivent de l'assemblage d'unités d'isoprène (C_5) et représentent l'une des familles les plus diversifiées de composés naturels. Sur le plan structural, les terpénoïdes sont classés selon le nombre d'unités isoprènes : monoterpènes (C_{10}), sesquiterpènes (C_{15}), diterpènes (C_{20}), triterpènes (C_{30}) et tétraterpènes (C_{40}). Cette classification est basée sur la longueur de la chaîne carbonée et sur leur voie de biosynthèse (Tholl, 2020).

Les terpénoïdes sont présents dans de nombreuses espèces végétales et se retrouvent principalement dans les huiles essentielles, les feuilles, les fleurs et les fruits. Ils sont souvent responsables des odeurs caractéristiques des plantes et jouent un rôle important dans les interactions écologiques. L'analyse des terpénoïdes est généralement réalisée par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS), une technique de référence pour l'étude des composés volatils et des huiles essentielles (Yang *et al.*, 2021).

En raison de leur diversité structurale et fonctionnelle, les terpénoïdes constituent une classe majeure de composés naturels faisant l'objet de nombreuses recherches phytochimiques et pharmacologiques récentes (Tholl, 2020 ; Yang *et al.*, 2021).

a) Les monoterpènes

Les monoterpènes constituent une sous-classe des terpénoïdes formée de deux unités d'isoprène, soit une structure de base en C10. Ils font partie des composés naturels les plus abondants dans les huiles essentielles des plantes (**Sell, 2019**). Sur le plan structural, les monoterpènes peuvent être classés en monoterpènes acycliques, monocycliques et bicycliques selon l'organisation de leur squelette carboné. Cette diversité structurale explique la grande variété de composés identifiés dans cette famille (**Sell, 2019**).

Les monoterpènes sont largement présents dans les plantes aromatiques et sont responsables de nombreuses odeurs caractéristiques. Ils sont généralement localisés dans les huiles essentielles extraites des feuilles, des fleurs ou des fruits. L'analyse des monoterpènes est souvent réalisée par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS), technique de référence pour l'identification des composés volatils des plantes (**Bilia et al., 2020**).

En raison de leur importance chimique et de leur large distribution, les monoterpènes constituent un groupe majeur de composés étudiés dans les recherches phytochimiques récentes (**Sell, 2019 ; Bilia et al., 2020**).

b) Les sesquiterpènes

Les sesquiterpènes sont des terpènes naturels constitués de trois unités isoprènes, comportant ainsi quinze atomes de carbone. Ils sont présents dans de nombreuses plantes, principalement dans les huiles essentielles, et se distinguent par une grande diversité structurale. Ces composés participent aux mécanismes de défense des végétaux et présentent plusieurs activités biologiques, notamment anti-inflammatoires, antimicrobiennes et antioxydantes (**Paduch et al., 2023**).

c) Les di-terpènes

Les diterpènes sont des composés naturels appartenant à la famille des terpènes, formés de quatre unités d'isoprène, soit un squelette carboné de 20 atomes de carbone. Ils sont largement présents dans les plantes et jouent un rôle important dans leurs mécanismes de défense. Ces molécules présentent également diverses activités biologiques, notamment anti-inflammatoires, antimicrobiennes, antioxydantes et anticancéreuses (**Zou et al., 2026**).

d) Les tri-terpènes

Les tri-terpènes sont des composés naturels appartenant à la famille des terpènes, constitués de six unités d'isoprène, soit 30 atomes de carbone. Ils sont largement répandus dans les plantes, où ils peuvent exister sous forme libre ou combinée (saponines, stéroïdes). Les

triterpènes possèdent de nombreuses activités biologiques, notamment anti-inflammatoires, antimicrobiennes, hépatoprotectrices et anticancéreuses, ce qui explique leur intérêt en phytothérapie et en pharmacologie (Wang *et al.*, 2022).

e) Les tétra-terpènes

Les tétra-terpènes représentent une classe de terpénoïdes constituée de huit unités isoprènes. Ils sont principalement représentés par les caroténoïdes, pigments naturels responsables de nombreuses colorations végétales. Ces composés participent à la protection contre le stress oxydatif et possèdent un intérêt nutritionnel et thérapeutique important (Hosseini et Pereira, 2021)

f) Les polyterpènes

Les polyterpènes constituent une classe de composés naturels appartenant aux terpénoïdes et résultant de l'assemblage de nombreuses unités d'isoprène. Contrairement aux terpènes simples, ils possèdent des chaînes carbonées de grande taille et une structure plus complexe (Cornish et Xie, 2021).

Sur le plan structural, les polyterpènes sont formés par polymérisation d'unités isoprènes (C₅)_n, ce qui leur confère des propriétés physicochimiques particulières, notamment une grande hydrophobicité et une faible volatilité (Cornish et Xie, 2021).

Les polyterpènes incluent des composés naturels importants tels que le caoutchouc naturel (poly-cis-isoprène), qui est l'un des exemples les plus connus de cette famille. Ils jouent un rôle essentiel dans certaines fonctions biologiques des plantes, notamment la protection mécanique et la réponse au stress (Liu *et al.*, 2020).

L'étude des polyterpènes repose sur des techniques analytiques avancées telles que la chromatographie et la spectrométrie de masse, permettant leur identification et leur caractérisation dans différents systèmes biologiques (Liu *et al.*, 2020). En raison de leur structure macromoléculaire et de leurs propriétés particulières, les polyterpènes représentent une classe importante de composés naturels étudiés dans les domaines de la chimie des polymères et de la phytochimie (Cornish et Xie, 2021).

II.5. Les activités biologiques des plantes médicinales

Les plantes médicinales renferment divers métabolites secondaires tels que les composés phénoliques, les flavonoïdes, les terpénoïdes et les alcaloïdes, responsables de plusieurs activités biologiques (Dias *et al.*, 2021).

L'activité antioxydante est l'une des plus importantes. Elle est principalement liée aux composés phénoliques capables de neutraliser les radicaux libres et de réduire le stress oxydatif **(Shahidi et Ambigaipalan, 2015)**. Les plantes médicinales présentent également une activité anti-inflammatoire, attribuée surtout aux flavonoïdes et aux terpénoïdes, qui modulent les médiateurs de l'inflammation **(Salehi *et al.*, 2019)**.

L'activité antimicrobienne est également rapportée dans plusieurs études récentes. Elle est due à des composés bioactifs capables d'inhiber la croissance de divers micro-organismes pathogènes, notamment des bactéries résistantes, ce qui confirme l'intérêt pharmacologique des plantes médicinales **(Batiha *et al.*, 2020)**.

Par ailleurs, une activité anti lithiasique est souvent observée dans certaines plantes médicinales. Elle correspond à la capacité de réduire la formation des calculs urinaires en inhibant la cristallisation des sels ou en favorisant leur élimination par augmentation du débit urinaire. Cette activité est généralement associée aux composés phénoliques et aux flavonoïdes présents dans les extraits végétaux **(Saha et Verma, 2020)**.

Ainsi, les activités biologiques des plantes médicinales sont étroitement liées à leur composition chimique, ce qui explique leur intérêt croissant en pharmacologie et en médecine traditionnelle.

Chapitre III

Aperçu général sur les espèces étudiées

Dans le cadre de cette étude, deux espèces végétales ont été sélectionnées en raison de leur importance biologique et de leur teneur en composés bioactifs susceptibles de présenter des propriétés pharmacologiques. Ce chapitre est consacré à la présentation des caractéristiques botaniques et phytochimiques de *Zea mays* L et d'*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill., ainsi que des principales activités biologiques rapportées dans la littérature scientifique.

III.1. *Zea mays* L.

III.1.1. Description botanique

Les stigmates de *Zea mays* L, communément appelés soie de maïs, sont les structures filamenteuses reliées aux fleurs de sexe féminin. Chaque filament est connecté individuellement à un ovule et a une importance dans l'accueil du pollen pendant le processus de fertilisation.

Sur le plan morphologique, les stigmates apparaissent sous forme de filaments souples dont la coloration évolue progressivement du jaune clair vers des teintes plus foncées au cours du développement. Les études récentes rapportent que les stigmates de maïs contiennent différents composés végétaux parmi lesquels figurent les composés phénoliques, les flavonoïdes et plusieurs métabolites secondaires (Hasanudin *et al.*, 2022 ; Ren *et al.*, 2023)

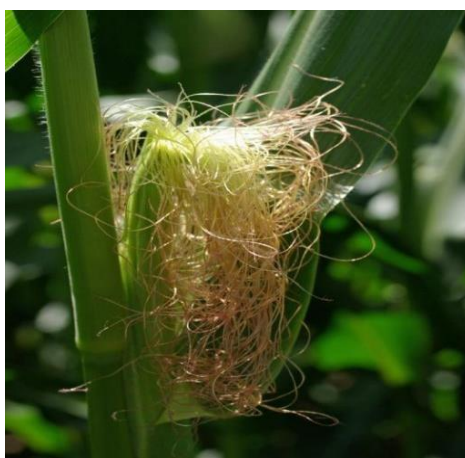


Figure 6: *Zea mays* L. (Joelle Magnin-Gonze ;2008)

III.1.2. Classification botanique :

La classification botanique positionne *Zea mays* L. dans la hiérarchie systématique des plantes et définit son inclusion dans les diverses catégories taxonomiques. Le maïs fait partie de la famille des *Poaceae*, comprenant principalement des herbacées monocotylédones. Le tableau 2 ci-après illustre sa classification taxonomique.

Tableau 2: Classification botanique (Zhou *et al.*, 2023).

Range taxonomique	Classification
Règne	Plantae
Division	Magnoliophyta (Angiospermes)
Classe	Liliopsida (Monocotylédones)
Ordre	Poales
Famille	Poaceae
Espèce	<i>Zea mays</i> L.

III.1.3. Composition phytochimique

Les stigmates de *Zea mays* présentent une composition phytochimique diversifiée comprenant principalement des flavonoïdes, des polyphénols, des acides phénoliques, des polysaccharides, des acides gras, des terpénoïdes, des stérols, des saponines, des acides organiques ainsi que différents composés volatils. Les flavonoïdes constituent l'un des groupes les plus étudiés et comprennent notamment plusieurs dérivés glycosylés. Des analyses réalisées par chromatographie et spectrométrie ont également permis d'identifier la présence de composés phénoliques associés à la composition bioactive des stigmates. La composition chimique peut varier selon le génotype végétal, le stade physiologique et les conditions environnementales (Singh *et al.*, 2022 ; Umbrella Review, 2024).

III.1.4. Études pharmacologiques et applications potentielles en santé

Les stigmates de maïs sont étudiés pour différentes propriétés biologiques. Plusieurs travaux expérimentaux ont notamment rapporté des activités antioxydante, anti-inflammatoire, hypoglycémiant, hypolipidémiant, antihypertensive, hépatoprotectrice, néphroprotectrice et immunomodulatrice.

III.1.4.1. Activité antioxydante

Les stigmates de *Zea mays* présentent une activité antioxydante qui peut être associée à leur richesse en composés flavonoïdiques et phénoliques. Des travaux réalisés sur leurs extraits ont montré une capacité à agir contre les radicaux libres, ce qui témoigne de leur potentiel antioxydant (Li *et al.*, 2023).

III.1.4.2. Activité anti-inflammatoire

Des études expérimentales ont également mis en évidence un effet anti-inflammatoire des extraits de stigmates de maïs. L'extrait aqueux a notamment montré une diminution de la réponse inflammatoire dans des modèles expérimentaux d'inflammation (**Kim *et al.*, 2022**)

III.1.4.3. Activité hypoglycémiante

Les stigmates de maïs ont fait l'objet de plusieurs études concernant leur effet sur la glycémie. Une étude utilisant une décoction de stigmates de maïs a montré une diminution de la glycémie et une amélioration de la résistance à l'insuline dans un modèle expérimental de diabète (**Wang *et al.*, 2022**)

III.1.4.4. Activité hypolipidémiante

Les extraits de stigmates de maïs ont également été étudiés pour leur effet sur le métabolisme lipidique. Chez des souris soumises à un régime riche en graisses, l'extrait aqueux de stigmates de maïs a été associé à une diminution du cholestérol total sérique et hépatique (**Ding *et al.*, 2022**)

III.1.4.5. Activité antihypertensive

Les études pharmacologiques ont rapporté que certains extraits de stigmates de maïs présentent une activité antihypertensive, notamment par l'inhibition de l'enzyme de conversion de l'angiotensine (ACE) (**Hsiang *et al.*, 2024**).

III.1.4.6. Activité hépatoprotectrice

Des travaux portant sur un polysaccharide extrait des stigmates de maïs ont montré un effet protecteur au niveau hépatique dans un modèle de cellules hépatiques soumises à une atteinte induite par l'éthanol (**Zhang *et al.*, 2023**).

III.1.4.7. Activité néphroprotectrice

Les polysaccharides des stigmates de maïs ont également été étudiés dans le contexte de la néphropathie diabétique. Une étude expérimentale a rapporté un effet d'atténuation de cette atteinte rénale après administration de polysaccharides issus des stigmates de maïs (**Dong *et al.*, 2023**).

III.1.4.8. Activité immunomodulatrice

Les polysaccharides extraits des stigmates de maïs ont également montré une activité immunomodulatrice dans des modèles cellulaires. Leur administration a notamment été associée à une augmentation de certains paramètres liés à la réponse des cellules immunitaires (**Abdin *et al.*, 2023**)

III.1.4.9. Protection contre l'ischémie-reperfusion

Des recherches expérimentales ont étudié l'effet d'un extrait aqueux de stigmates de maïs dans un modèle d'ischémie-reperfusion cérébrale. Les résultats ont montré une réduction des dommages associés à ce phénomène, notamment au niveau du stress oxydatif et de l'inflammation (Ryuk *et al.*, 2022).

Ces résultats soutiennent l'intérêt des stigmates de *Zea mays* comme source de composés bioactifs étudiés pour leurs applications potentielles dans le domaine de la santé (Wang *et al.*, 2024 ; Zhang *et al.*, 2024).

III.2. Figuier de barbarie

III.2.1. Description du figuier de barbarie (*Opuntia ficus indica*) :

Le figuier de barbarie (*Opuntia ficus-indica* L.) (Figure 7) appartient à la famille des Cactaceae. Il s'agit d'une espèce succulente largement adaptée aux régions arides et semi-arides grâce à ses mécanismes de conservation hydrique et à sa capacité d'adaptation aux contraintes environnementales.



Figure 8 : *Opuntia ficus-indica* L. (Figuier de Barbarie) (Martins *et al.*, 2023)

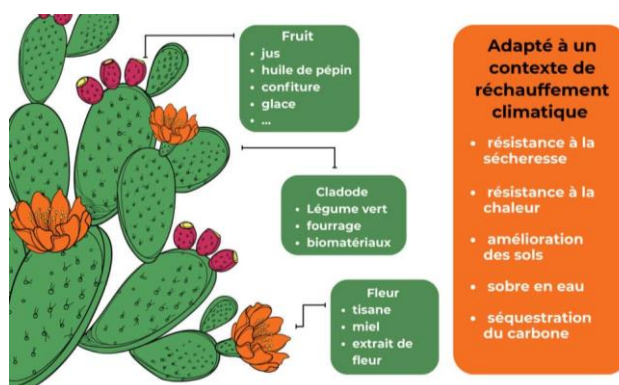


Figure 7: Principales utilisations et caractéristiques du figuier de barbarie dans un contexte de changement climatique (Carrier, 2025).

L'appareil végétatif est constitué principalement de cladodes aplatis et charnus, qui représentent les organes assurant la photosynthèse et le stockage de l'eau comme l'illustre la **figure 8**. Contrairement à de nombreuses espèces végétales, les feuilles véritables apparaissent uniquement durant les premiers stades de développement avant de disparaître progressivement.

Le système racinaire du figuier de barbarie est généralement superficiel mais étendu, ce qui favorise l'absorption rapide de l'humidité disponible dans le sol après les précipitations. Cette organisation racinaire participe à l'adaptation de l'espèce aux environnements caractérisés par une disponibilité limitée en eau.

Les fleurs sont généralement hermaphrodites et se développent au niveau des aréoles présentes sur les cladodes. Elles présentent une coloration variable selon les génotypes et produisent des fruits charnus contenant de nombreuses graines.

Le fruit correspond à une baie issue du développement floral et se caractérise par une enveloppe externe entourant une pulpe riche en eau ainsi qu'en différents constituants végétaux. Les variations morphologiques observées chez les fruits sont associées aux caractéristiques génétiques et aux conditions environnementales (**Martins *et al.*, 2023 ; Giraldo-Silva *et al.*, 2023 ; Bouhrim *et al.*, 2021**)

III.2.2. Classification botanique

La classification botanique permet de situer *Opuntia ficus-indica* L. , dans la hiérarchie taxonomique et d'indiquer son appartenance aux différents groupes botaniques. Le figuier de Barbarie appartient à la famille des Cactacées (Cactaceae) et à l'ordre des Caryophyllales ; sa classification botanique est présentée dans le tableau 3 et ci-dessous.

Tableau 3: Classification botanique d'*Opuntia ficus-indica* L (**Martins *et al.*, 2023**).

Range taxonomique	Classification
Règne	Plantae
Division	Magnoliophyta (Angiospermes)
Classe	Magnoliopsida (Dicotylédones)
Ordre	Caryophyllales
Famille	Cactaceae
Genre	Opuntia
Espèce	<i>Opuntia ficus-indica</i> L. Mill.

III.2.3. Caractéristiques morphologiques

Cette espèce se distingue par de multiples caractéristiques morphologiques adaptées aux conditions arides ; en effet, l'*Opuntia* est une plante xérophyte, adaptée aux environnements arides grâce à sa grande capacité de stockage de l'eau.

III.2.3.1. Appareil racinaire

L'appareil racinaire du figuier de barbarie est caractérisé par un développement principalement superficiel accompagné d'une extension latérale importante. Les racines présentent une capacité élevée d'absorption de l'eau disponible après les épisodes de précipitation. Cette organisation racinaire favorise l'exploitation rapide des ressources hydriques présentes dans les couches superficielles du sol. Le développement du système racinaire varie selon les conditions pédologiques, climatiques et agronomiques (**Martins *et al.*, 2023**)

III.2.3.2. Les cladodes

Les cladodes représentent les principaux organes végétatifs du figuier de barbarie. Ce sont des structures aplaties, charnues et riches en eau assurant les fonctions photosynthétiques de la plante. Elles remplacent les feuilles dans les échanges physiologiques et participent également au stockage hydrique. Les cladodes possèdent une surface recouverte d'une cuticule limitant les pertes en eau et présentent des aréoles réparties sur leur surface (**Martins *et al.*, 2023 ; Giraldo-Silva *et al.*, 2023**)



Figure 9: Raquette d'*Opuntia* (**Medjadi, 2012**)

III.2.3.3. Les fruits

Le fruit du figuier de barbarie correspond à une baie charnue issue du développement floral. Il est constitué d'une enveloppe externe entourant une pulpe contenant de nombreuses graines. La morphologie du fruit varie selon les géotypes et les conditions environnementales.

Les fruits présentent également des différences relatives à leur taille, leur forme et leur composition (Giraldo-Silva *et al.*, 2023 ; Martins *et al.*, 2023).



Figure 10: Figuier de barbarie (Faouzi, 2015)

III.2.3.4. Les feuilles

Les feuilles du figuier de barbarie sont présentes uniquement au cours des premiers stades du développement végétatif. Elles apparaissent sous forme de petites structures temporaires puis régressent progressivement au cours de la croissance de la plante. Les fonctions physiologiques associées aux feuilles sont ensuite assurées principalement par les cladodes (Martins *et al.*, 2023).

III.2.3.5. Les fleurs

Les fleurs du figuier de barbarie se développent au niveau des aréoles présentes sur les cladodes. Elles sont généralement hermaphrodites et composées des structures reproductrices caractéristiques des angiospermes. Leur morphologie ainsi que leur coloration peuvent varier selon les génotypes et les conditions environnementales (Martins *et al.*, 2023 ; Giraldo-Silva *et al.*, 2023).



Figure 11: Fleur d' *Opuntia ficus-indica* L. (Soni et Kumar, 2023)

III.2.4. Les fleurs d' *Opuntia ficus-indica* L

Les fleurs de l'*O. ficus-indica* représentent un élément végétal d'un intérêt spécifique en raison de leurs propriétés morphologiques et de leur forte teneur en composés bioactifs. Pour mieux comprendre leur potentiel biologique, cette section décrit successivement leur morphologie, leur composition phytochimique et les principales activités biologiques mentionnées dans les publications.

III.2.4.1. Description morphologique des fleurs

Les fleurs d'*Opuntia ficus-indica* L sont de grande taille et présentent une structure hermaphrodite. Elles se développent sur les bords supérieurs des fleurs et sont généralement pollinisées par les insectes ou par le vent. Bien qu'elles ne possèdent pas de parfum, elles se distinguent par une large diversité chromatique allant du jaune au rouge, incluant également des nuances orange, rose, violet et blanc. La période de floraison est relativement courte, ce qui limite les recherches approfondies sur cet organe végétal (Martins *et al.*, 2023).

III.2.4.2. Composition phytochimique des fleurs

Les fleurs d'*Opuntia ficus-indica* L se caractérisent par une richesse importante en composés phytochimiques. Elles contiennent principalement des bétalaïnes, responsables des pigments jaunes et rouges, ainsi que divers composés phénoliques et flavonoïdes. Parmi ces derniers, on retrouve notamment l'acide gallique et des dérivés de l'isorrhamnétine. Ces substances bioactives sont reconnues pour leurs propriétés antioxydantes et leur intérêt dans plusieurs domaines industriels tels que l'agroalimentaire et la pharmacie (Martins *et al.*, 2023).

III.2.4.3. Activités biologiques rapportées

Les extraits floraux d' *Opuntia ficus-indica* L présentent plusieurs activités biologiques significatives. Des études ont démontré une activité antioxydante élevée, associée à la capacité de neutraliser les radicaux libres. Ils possèdent également des propriétés antibactériennes contre des souches pathogènes telles que *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* et *Pseudomonas aeruginosa*, ainsi qu'une activité antifongique contre certains champignons. Ces effets sont principalement attribués à la richesse en composés phénoliques et en bétalaïnes, ce qui confère aux fleurs un fort potentiel pour des applications comme conservateurs naturels et agents bioactifs (Martins *et al.*, 2023).

III.2.5. Importance de la culture du Figuier de Barbarie

Le figuier de barbarie (*Opuntia ficus-indica* L.) Mill.) représente une espèce végétale d'intérêt agricole, alimentaire, économique et médicinal. Son adaptation aux conditions

climatiques arides et semi-arides a favorisé son développement dans plusieurs régions caractérisées par des ressources hydriques limitées.

Sur le plan agricole, cette espèce est reconnue pour sa capacité d'adaptation aux contraintes environnementales ainsi que pour son intégration dans les systèmes de production végétale des zones sèches. Sa culture participe également à la valorisation des terres marginales et à la diversification des productions agricoles.

Sur le plan alimentaire, les fruits et les fleurs constituent une source de composés nutritionnels comprenant des fibres, des minéraux, des vitamines ainsi que différents constituants végétaux naturellement présents dans l'espèce. Plusieurs travaux récents rapportent également l'intérêt croissant porté aux produits dérivés du figuier de barbarie dans le secteur agroalimentaire.

Dans le domaine des plantes médicinales, l'intérêt porté au figuier de barbarie est associé à sa richesse en composés bioactifs appartenant principalement aux composés phénoliques, aux pigments végétaux et à différents métabolites secondaires étudiés dans plusieurs travaux récents.

L'espèce présente également un intérêt économique lié à sa valorisation dans les secteurs alimentaire, cosmétique et pharmaceutique ainsi qu'au développement de filières agricoles adaptées aux environnements arides (**Martins *et al.*, 2023 ; Giraldo-Silva *et al.*, 2023 ; Bouhrim *et al.*, 2021**).

Partie II

Partie Expérimentale

Chapitre IV

Matériels et Méthodes

IV.1. Matériels et Méthodes

La deuxième partie pratique est basée sur l'étude phytochimique des deux espèces de plantes *Opuntia ficus-indica* L. et *Zea mays* L. (stigmates) collecté par un herboriste, ces deux espèces sont identifiées par Mme SEKKEL Fatima enseignante au département de Biotechnologie, université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem. L'étude expérimentale a été effectuée au niveau du laboratoire de biochimie n°2, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem.

IV.2. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans cette étude est constitué des fleurs de Figuier d'O. *ficus-indica* (Barbarie) (**figure 12**) et des stigmates de *Zea mays* L (maïs) (**figure 13**). Les échantillons végétaux ont été récoltés, nettoyés puis séchés à température ambiante à l'abri de la lumière. Après séchage, ils ont été broyés en poudre fine et conservés dans des récipients hermétiques jusqu'à leur utilisation.



Figure 12: Échantillon de fleurs séchées d'*Opuntia ficus-indica*



Figure 13: Échantillon de stigmates de *Zea mays* L

IV.3. Calculs urinaires

Dans ce contexte d'étude, l'activité litholytique est axée sur deux types de calculs urinaires : les calculs de type de cystine (**figure 14**), et les calculs de type phosphatique (**figure 15**). Ces échantillons sont issus d'un laboratoire d'analyses médicales privées situé à Mostaganem.



Figure 14 : échantillon de calculs de type cystine



Figure15: échantillon de calculs de type phosphate

IV.4. Méthodes d'extraction

IV.4.1. Préparation des extraits des plantes utilisées

A. Décoction

Pour chaque plante, dans un bécher 20 g de poudre végétale ont été mélangés à 500 ML eau distillée, Le mélange est ensuite agité doucement à la main afin d'obtenir une solution homogène, puis portés à ébullition au bain-marie à une température de 40 °C pendant 30 minutes. Une fois le chauffage terminé, le mélange est laissé à refroidir naturellement à température ambiante. Le filtrat est obtenu en filtrant le mélange à l'aide d'un papier filtre Whatman n°1. Le filtrat obtenu constitue l'extrait aqueux par décoction, qui a été recueilli dans un récipient propre et conservé pour les analyses ultérieures (**Khafallah et Bekaddour, 2025**). Le schéma suivant (**Figure 16**) illustre les étapes suivies.

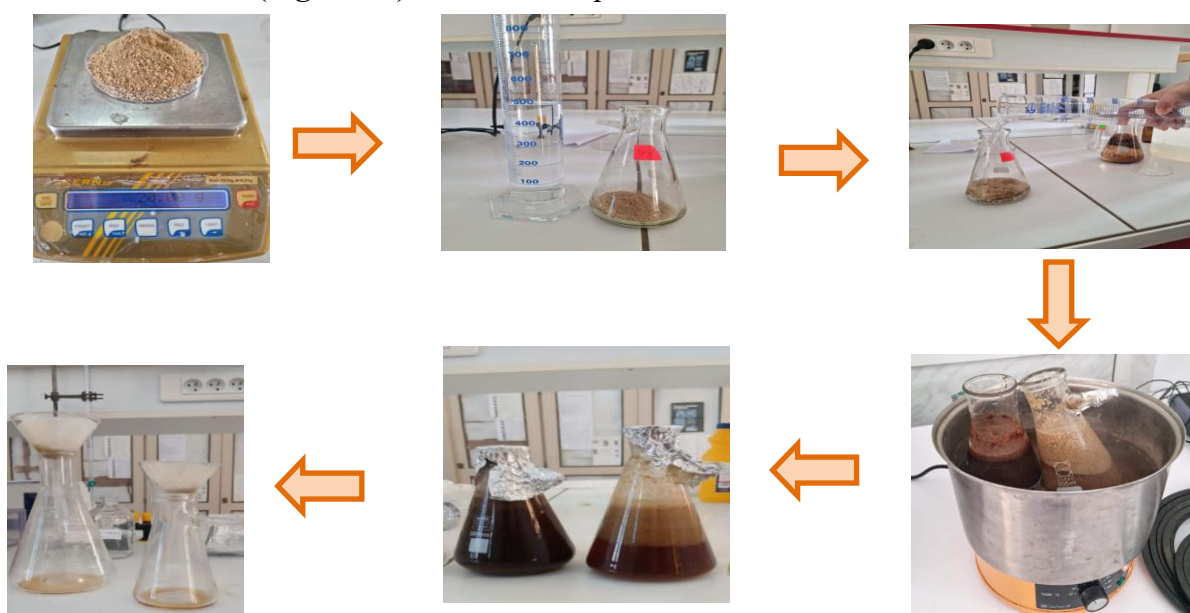


Figure 12: Schéma des étapes de préparation de l'extrait aqueux par décoction

B. Macération

La macération a été réalisée en utilisant 5 g de matière végétale pulvérisée. L'échantillon a été placé dans 100 mL de deux solvants d'extraction, à savoir l'eau distillée et l'éthanol 70 % (v/v). Après 30 minutes de contact, les macérâts ont été filtrés sur papier filtre Whatman afin d'obtenir les extraits destinés aux analyses ultérieures.

Le schéma suivant (**Figure 13**) illustre les étapes suivies.



Figure 13: Schéma récapitulatif de Macération

C. Infusion

L'extraction par infusion a été réalisée afin d'obtenir un extrait aqueux par infusion, en ajoutant de l'eau distillée préalablement portée à ébullition à 10 g de matière végétale placés dans un bécher en verre. Un volume de 250 mL d'eau distillée a été chauffé jusqu'à ébullition, puis versé sur l'échantillon végétal. Le bécher a ensuite été recouvert d'une feuille d'aluminium afin de limiter les pertes par évaporation. Le mélange a été laissé au repos pendant 10 à 15 minutes afin de permettre l'extraction des composés actifs (**Lehout et al., 2015**).

Après ce temps de contact, la préparation a été filtrée à l'aide d'un entonnoir muni d'un papier filtre. L'opération a été répétée à trois reprises et les filtrats obtenus ont été réunis dans un même récipient pour les analyses ultérieures (**Lehout et al., 2015**).

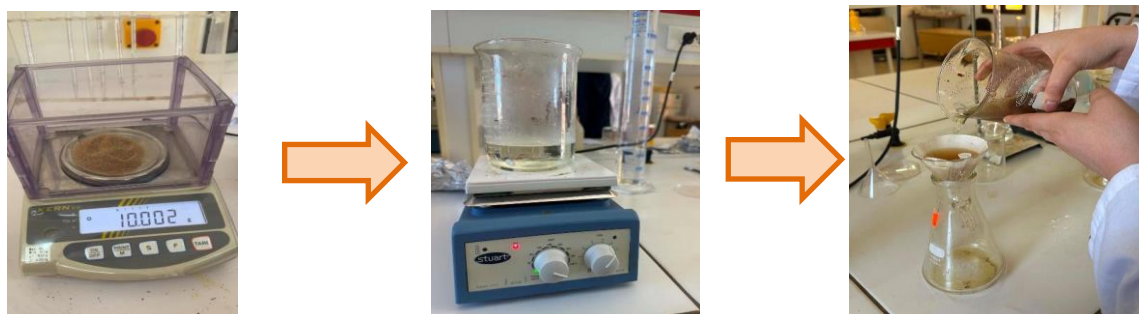


Figure 14: Schéma récapitulatif de l'infusion

IV.4.2. Calcul du rendement

Le rendement d'extraction correspond au rapport entre la masse de l'extrait sec obtenu et la masse de la poudre végétale utilisée. Il est exprimé en pourcentage selon la formule suivante :
$$\text{Rendement d'extraction (\%)} = (P_s / P_p) \times 100$$

Avec : - P_s : masse de l'extrait sec (g).

- P_p : masse de la poudre végétale utilisée (g).

IV.5. Analyses phytochimiques

Analyses qualitatives (Screening phytochimique)

Le criblage phytochimique constitue une analyse qualitative permettant de mettre en évidence les principaux métabolites secondaires présents dans les extraits végétaux. Cette étude repose sur différentes réactions chimiques révélant la présence ou l'absence de groupes de composés tels que les flavonoïdes, les alcaloïdes, les tanins, les saponines, les polyphénols.

A. Test des flavonoïdes

À 2 mL d'extrait, quelques gouttes d'acide chlorhydrique (HCl) à 37 % ainsi que 0,5 g de tournures de magnésium ont été ajoutées. L'apparition d'une coloration rouge à orangée indique la présence de flavonoïdes dans l'échantillon (**Karumi *et al.*, 2004**).

B. Test des tanins

La présence des tannins est mise en évidence en ajoutant à 1 ml de chaque extrait, 1 ml d'eau et 1 à 2 gouttes de solution de FeCl_3 diluée à 1%, L'apparition d'une coloration vert foncé ou bleue verte indique la présence des tanins (**El-Haoud *et al.*, 2018**).

C. Test des composés réducteurs

On ajoute à 1 ml d'extrait à 0.5 ml de Liqueur de Fehling A et B puis on chauffe le tube au bain-marie à 100°C. Un test positif est indiqué par l'apparition d'un précipité de couleur rouge brique (**El-Haoud *et al.*, 2018**).

D. Test des alcaloïdes

L'extrait méthanolique a été repris dans quelques millilitres d'acide chlorhydrique (HCl), puis traité par addition de quelques gouttes du réactif de Mayer. L'apparition d'un précipité jaune traduit la présence d'alcaloïdes dans l'extrait étudié.

E. Test de mucilage

La poudre végétale est mélangée avec l'éthanol 10 %, puis portée à l'ébullition pendant 15 minutes, le mélange est ensuite filtré. A 1 ml de l'extrait, on a ajouté 5 ml d'éthanol absolu. L'apparition d'un précipité floconneux indique la présence du mucilage (**Majob, 2003**).

F. Test des polyphénols

Deux millilitres d'extrait ont été traités par quelques gouttes d'une solution de chlorure ferrique (FeCl_3) à 10 %. La formation d'une coloration ou d'un précipité noir verdâtre intense témoigne de la présence de composés polyphénoliques.

G. Test des quinones libres

A un volume de 1 ml de l'extrait, on ajoute quelques gouttes de NaOH à 1%, %. L'apparition d'une couleur qui vire au jaune, rouge ou violet indique la présence des quinones libres (**Oloyede, 2005**).

H. Test des saponosides

On ajoute 1 ml d'eau distillée à 2 ml de l'extrait, puis la solution est agitée pendant 1 minute. La présence des saponosides est confirmée par l'apparition d'une mousse qui persiste durant 1 minute. Le test est considéré comme positif si l'épaisseur de la mousse dépasse 1cm (**N'Guessan et al., 2009**).

IV.6. Evaluation de l'activité litholytique

Test de dissolution des calculs de cystine et de phosphate in vitro Des calculs rénaux de cystine et de phosphates ont été utilisés

Cet essai a été réalisé selon la méthode de **Meiouet et al.** (2011), l'étude portant sur 19 calculs rénaux de cystine (d'une masse moyenne comprise entre 0,13 et 0,36 g) et 19 calculs de phosphate (d'une masse moyenne comprise entre 0,11 et 0,69 g).

On a utilisées trois extraits différents des deux plantes (extrait décocté, macérat et infusé), par la suite une solution de NaCl à 9g/l a été préparée pour être utilisée comme solution témoin dans notre expérimentation. Ces extraits ont été repartis à raison de 60 ml dans des fioles de 250 ml, ensuite les calculs ont été placés chacun dans un sachet poreux en fibres tressées pour éviter tout contact avec la paroi du contenant et mis en suspension dans l'extrait.

Pour chaque expérience, le pH des solutions est ajusté à l'aide d'un ph mètre, en parallèle, la pesée de chaque calcul est effectuée à l'aide d'une balance de précision, le tout est porté sous agitation continue dans un shaker 130 t/min à température ambiante du laboratoire.

Tous les 3 jours, on possède à la mesure du pH et la pesée des calculs dans les différents extraits. La perte de masse des calculs rénaux évaluée par pesée du calcul suivant la formule :

$$D\% = (P \text{ initiale} - P \text{ finale}) 100 / P \text{ initiale}$$

L'expérimentation s'est déroulée au total pendant un mois à température ambiante sous agitation (Meiouet *et al.*, 2011).

IV 9. Expression des résultats

Les données ont été saisies, traitées et représentées sur des tableaux et des graphes par le logiciel « Microsoft Office Excel 2007 ». L'analyse des données a fait appel aux méthodes simples des statistiques descriptives en utilisant la moyenne et les pourcentages pour variables qualitatives.

Chapitre V

Résultats et discussions

V.1. Résultats du rendement d'extraction

Le rendement d'extraction (R %) a été calculé pour divers extraits végétaux préparés à partir de stigmates de *Zea mays* L et d'*O. ficus-indica* (figuier de Barbarie), afin d'évaluer l'efficacité des méthodes d'extraction utilisées et de comparer la quantité d'extrait obtenue selon les différentes méthodes. Le rendement a été déterminé en fonction du rapport entre le poids de l'extrait sec (PS) et le poids du matériel végétal initial (PP), selon l'équation : $R \% = (PS/PP) \times 100$. Les résultats obtenus pour la décoction, l'infusion et la macération sont présentés dans les tableaux suivants.

A. Stigmates de *Zea mays* L

Le tableau 4 montre que le rendement d'extraction des extraits de stigmates de *Zea mays* L a varié selon la méthode utilisée. La décoction a permis d'obtenir le rendement le plus élevé, soit 14 % (donnant 2,80 g d'extrait sec à partir de 20 g de matière végétale), suivie de l'infusion avec un rendement de 11 %, tandis que la macération a enregistré le rendement le plus faible, soit 9 %. Ces résultats indiquent que, dans les conditions expérimentales données, la décoction était la plus efficace des trois méthodes pour extraire les constituants récupérables des stigmates de *Zea mays* L.

Tableau 4: Rendement des différents extraits des stigmates de *Zea mays* L selon la méthode d'extraction

Extrait	PP (g)	PS (g)	Rendement (%)
Décoction	20	2,80	14%
Infusion	10	1,10	11%
Macération	5	0,45	9%

Toutefois, la littérature confirme l'influence de la température sur l'extraction **Ammor et al. (2019)**. Des techniques plus modernes permettent d'obtenir des rendements nettement supérieurs **Kristanti et al. (2019)** ont atteint un rendement de 24,54 % grâce à une extraction assistée par micro-ondes des stigmates de maïs, tandis que **Aourabi et al. (2020)** ont obtenu une efficacité de 31,37 % par extraction assistée par ultrasons. Ces méthodes modernes surpassent largement la fourchette de 9 à 14 % observée avec les approches traditionnelles, ce qui suggère que l'optimisation des méthodes d'extraction demeure un axe de recherche important pour la récupération des composés bioactifs de *Zea mays* L.

B. Figuier de barbarie

Le tableau 5 montre que le rendement d'extraction pour *O. ficus-indica* (figuier de Barbarie) a varié selon la méthode utilisée. La décoction a permis d'obtenir le rendement le plus élevé, soit 16 % (donnant 3,20 g d'extrait sec à partir de 20 g de matière végétale), tandis que le rendement était de 13 % pour l'infusion et de 11 % pour la macération. Par conséquent, la décoction a montré la meilleure efficacité d'extraction par rapport aux deux autres méthodes, alors que la macération a enregistré le rendement le plus faible.

Tableau 5: Rendement des différents extraits des fleurs d'*Opuntia ficus-indica*, selon la méthode d'extraction

Extrait	PP (g)	PS (g)	Rendement (%)
Décoction	20	3,20	16%
Infusion	10	1,30	13%
Macération	5	0,55	11%

Contrairement à nos résultats, l'étude de **Kechebar *et al.* (2017)** indique que la macération a donné de meilleurs résultats que l'extraction au Soxhlet pour *Opuntia ficus-indica*, avec un rendement en polyphénols totaux de 36,7 mg GAE/g de matière sèche (**Kechebar *et al.*, 2017**) Par ailleurs, **Brahmi *et al.* (2022)** ont démontré que l'extraction assistée par ultrasons (EAU) était statistiquement plus efficace que la macération et l'extraction au Soxhlet pour les fleurs d'*Opuntia ficus-indica* (**Brahmi *et al.*, 2022**).

V.2. Screening phytochimique

Afin d'évaluer la composition phytochimique des extraits préparés à partir des stigmates de *Zea mays* et des fleurs de figuier de Barbarie (*Opuntia ficus-indica*), un screening phytochimique qualitatif a été réalisé sur les extraits obtenus par décoction, infusion et macération. La recherche a porté sur différents groupes de composés bioactifs, notamment les flavonoïdes, les tanins, les alcaloïdes, les saponosides, les mucilages, les polyphénols et les quinones libres. Chaque extrait a été soumis aux tests qualitatifs, avec trois répétitions. La présence des différents groupes phytochimiques a été déterminée sur la base des changements de coloration, de la formation et de la persistance de mousse ou de précipités, les résultats du screening phytochimique des stigmates de *Zea mays* L et des fleurs d'*Opuntia ficus-indica* sont présentés dans les tableaux 6 et 7.

Tableau 6: Résultats du screening phytochimique qualitatif des extraits de stigmates de *Zea mays L* obtenus par décoction, infusion et macération.

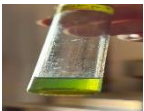
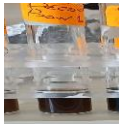
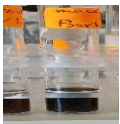
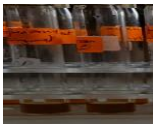
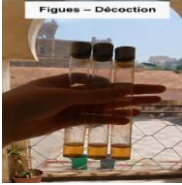
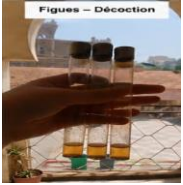
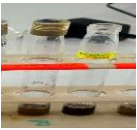
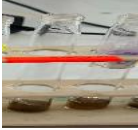
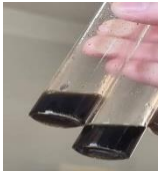
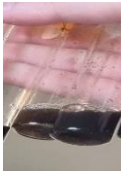
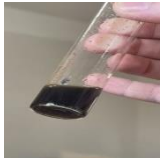
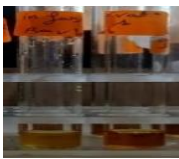
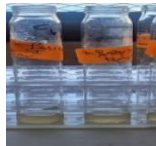
Test	Décoction		Infusion		Macération	
Les flavonoïdes	+++		+++		---	
Les tanins	+++		+++		+++	
Les composés	++-		++-		++-	
Les alcaloïdes	+++		+++		+++	
Les polyphénols	+++		+++		+++	
Les quinones libres	+++		+++		+++	
Saponisides	+++		+++		+++	
Mucilage	---	---	---	---	---	

Tableau 7: Résultats du screening phytochimique qualitatif des extraits de fleurs d'*Opuntia ficus-indica* obtenus par décoction, infusion et macération.

Test	Décoction		Infusion		Macération	
Les flavonoïdes	+++		+++		---	
Les tanins	+++		+++		+++	
Les composés réducteurs	+++		+++		+++	
Les alcaloïdes	+++		---		+++	
Les polyphénols	+++		+++		+++	
Les quinones libres	+++		+++		---	
Saponisides	+++		+++		+++	
Mucilage	---	---	---	---	+++	

Le criblage phytochimique de stigmates de *Zea mays* L consiste à réaliser des tests chimiques qualitatifs pour mettre en évidence les différentes familles de métabolites secondaires. Ces molécules bioactives varient selon la méthode d'extraction soit (décoction, infusion, macération), ce screening a révélé une forte présence des flavonoïdes dans les extraits aqueux et absents dans l'extrait hydroéthanolique, les tanins, les alcaloïdes, les polyphénols les quinones et les saponisides à leurs tours sont fortement présent dans les trois extraits, contrairement aux mucilages qui sont totalement absents dans tous les extraits

Le criblage phytochimique de stigmates de *Opuntia ficus-indica*, montre que les tanins, les composés réducteurs, les polyphénols et les saponisides sont fortement présent dans les trois extraits, ainsi on note que les flavonoïdes et les quinones libres sont fortement présents dans les extraits aqueux préparés par décoction et infusion, et ils sont absents dans l'extrait hydroéthanolique, contrairement aux mucilages qui sont fortement présents dans l'extrait hydroéthanolique et absents dans les extraits aqueux, en ce qui concerne les alcaloïdes, on note une forte présence dans les extraits (décocté et hydroéthanolique).

V.3. Evaluation de l'activité litholytique

V.3.1. Evaluation de l'activité litholytique vis-à-vis les calculs de cystéine

Afin d'évaluer l'activité litholytique des extraits végétaux sur les calculs urinaires de cystine, une étude cinétique a été réalisée sur une période de 27 jours. Des prélèvements ont été effectués au temps initial, puis aux jours 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24 et 27. Trois modes d'extraction, à savoir la décoction, l'infusion et la macération, ont été comparés pour les matières végétales étudiées, avec une solution de NaCl utilisée comme référence. La réduction de la masse des calculs a été suivie au cours du temps afin d'apprécier leur degré de dissolution sous l'effet des différents extraits. Les résultats sont exprimés sous forme de moyenne $\pm$ écart-type ($n = 3$).

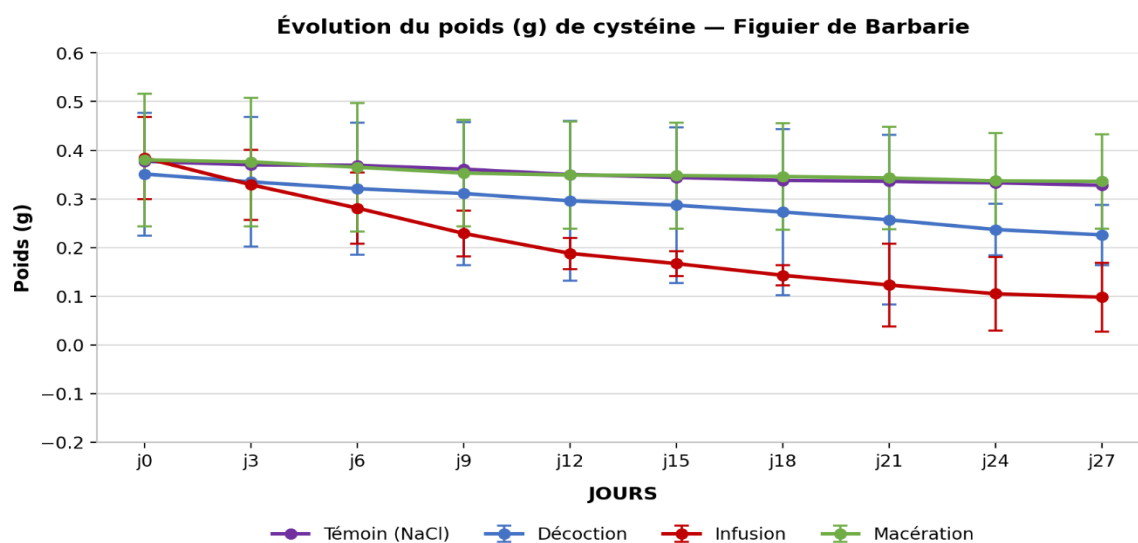


Figure 15: Évolution de la masse des calculs de cystine au cours de l'étude litholytique des extraits de fleurs d'*Opuntia ficus-indica*

La figure 19 représente la courbe d'évolution de la masse des calculs de cystine au cours de l'étude de l'activité litholytique des extraits de fleurs d'*Opuntia ficus-indica*. On peut observer une diminution progressive de la masse des calculs au cours du temps, particulièrement avec l'infusion, qui présente la masse finale la plus faible (**0,098 g**). Cette diminution traduit une dissolution progressive des calculs et suggère ainsi une activité litholytique plus importante de l'infusion.

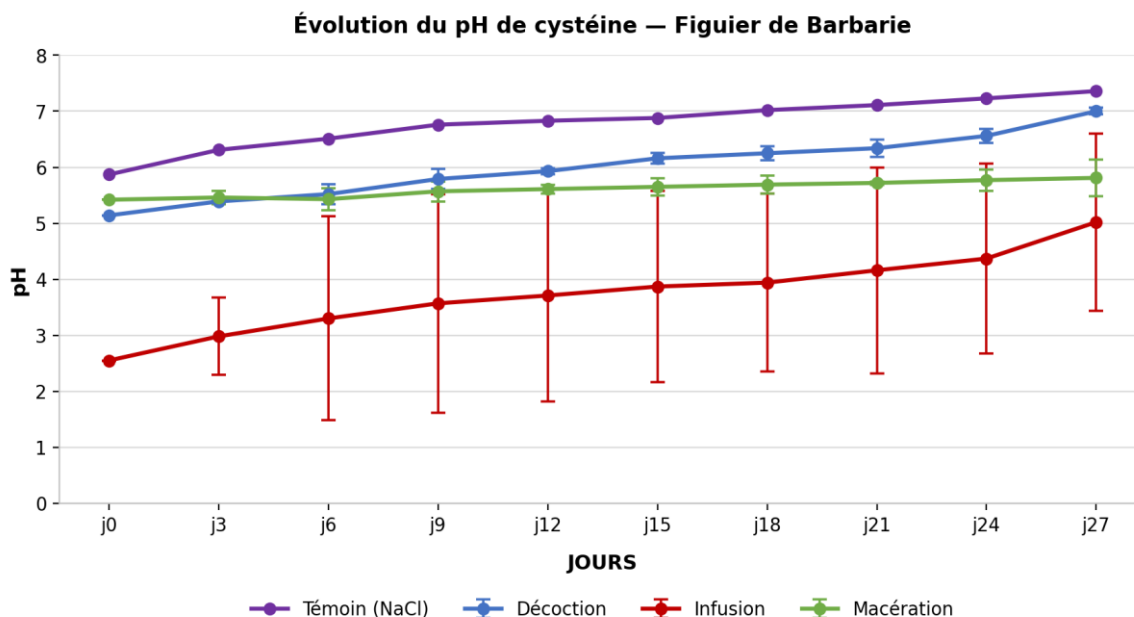


Figure 16: Évolution du pH du milieu contenant les calculs de cystine au cours de l'étude litholytique des extraits de fleurs d'*Opuntia ficus-indica*

La figure 20 représente l'évolution du pH du milieu contenant les calculs de cystine au cours de l'étude de l'activité litholytique des extraits de fleurs d'*Opuntia ficus-indica*. On peut observer une augmentation progressive du pH au cours de l'étude pour les différents extraits, avec une évolution plus marquée dans le cas de l'infusion. Cette variation du pH traduit une modification progressive des conditions du milieu au cours du processus litholytique. L'infusion présente ainsi une évolution du pH importante, parallèlement à la diminution de la masse des calculs observée précédemment.

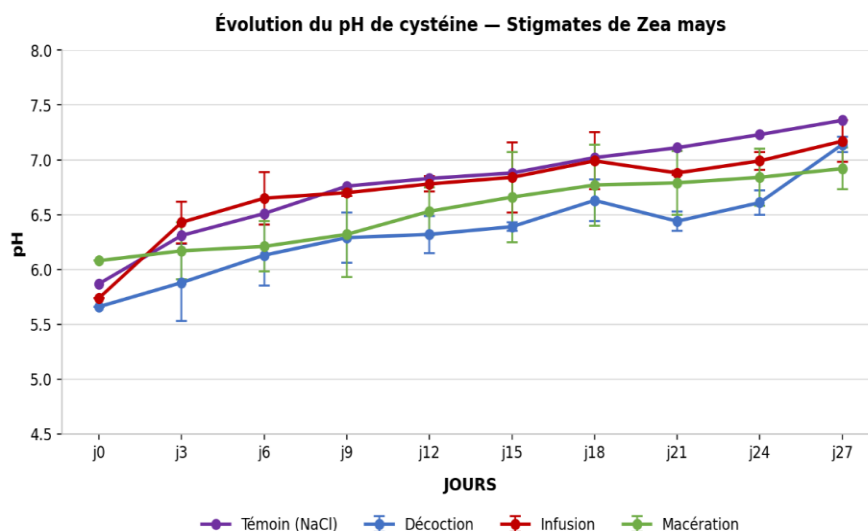


Figure 21: Évolution du pH du milieu contenant les calculs de cystéine au cours de l'étude litholytique des extraits de stigmates de *Zea mays* L.

La figure 21 représente l'évolution du pH du milieu contenant les calculs de cystéine au cours de l'étude de l'activité litholytique des extraits de stigmates de *Zea mays* L. On peut observer une augmentation progressive du pH au cours du temps pour les différents extraits, particulièrement avec l'infusion et la décoction. Le pH évolue ainsi globalement vers des valeurs plus élevées, traduisant une modification progressive des conditions du milieu au cours de l'étude.

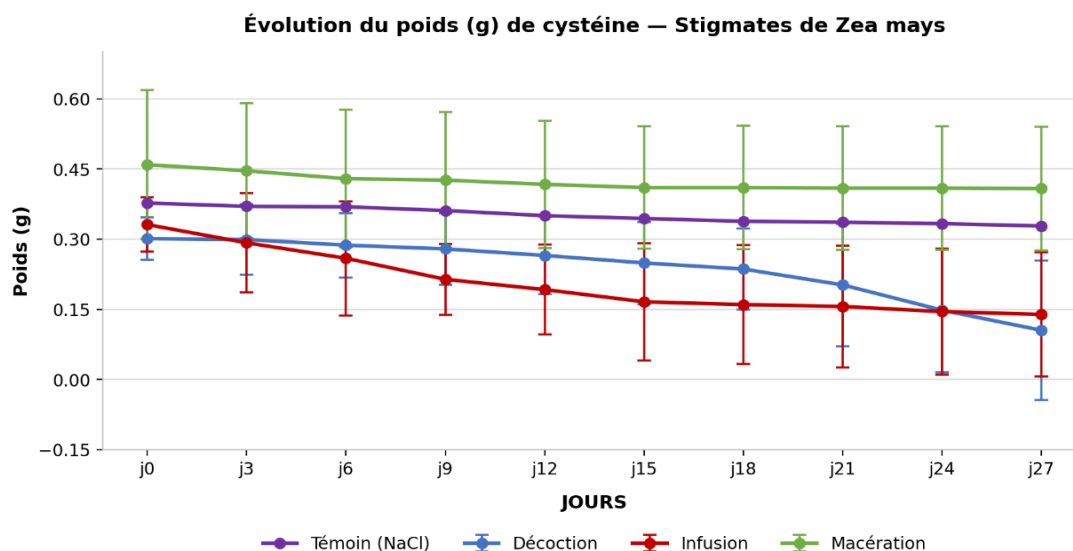


Figure 22 : Évolution de la masse des calculs de cystéine en fonction du temps selon les différents modes d'extraction des stigmates de *Zea mays* L.

La figure 22 représente l'évolution de la masse des calculs de cystine au cours de l'étude de l'activité litholytique des extraits de stigmates de *Zea mays* L. On peut observer une diminution progressive de la masse des calculs au cours du temps pour les différents modes d'extraction, avec une diminution particulièrement marquée dans le cas de la décoction. Cette diminution traduit une dissolution progressive des calculs et suggère une activité litholytique plus importante de la décoction. Celle-ci présente ainsi le meilleur effet litholytique, avec une masse finale de 0,105 g, tandis que la macération montre l'effet le plus faible, avec une masse finale de 0,408 g.

V.3.2. Evaluation de l'activité litholytique vis-à-vis les calculs de phosphate

Afin d'évaluer l'activité litholytique des extraits végétaux vis-à-vis des calculs de phosphate, une étude cinétique a été réalisée sur une période de 27 jours.

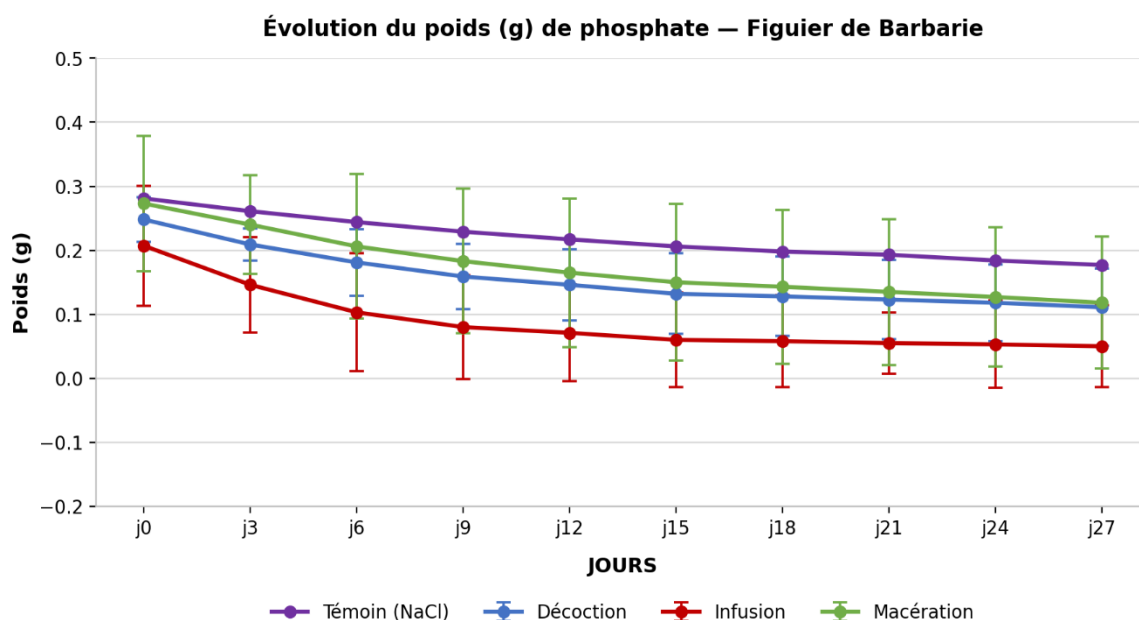


Figure 17: Évolution de la masse (g) des calculs de phosphate en fonction du temps et du mode d'extraction des fleurs d'*Opuntia ficus-indica*

La figure 23 représente l'évolution du pH du milieu contenant les calculs de phosphate au cours de l'étude de l'activité litholytique des extraits de fleurs d'*Opuntia ficus-indica*. On peut observer une augmentation progressive du pH au cours des premiers jours de l'étude, particulièrement avec l'infusion, qui présente l'augmentation la plus marquée par rapport aux autres extraits. Cette évolution traduit une modification progressive des conditions du milieu au cours du processus litholytique. Vers la fin de l'expérience, le pH tend à se stabiliser, indiquant une évolution relativement constante des conditions du milieu.

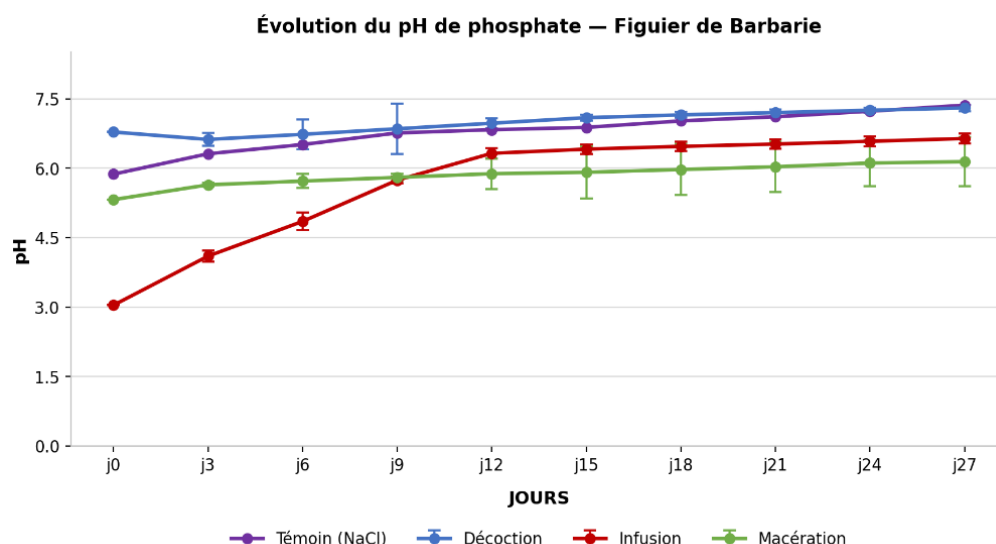


Figure 18: une courbe représente l'évolution du pH de phosphate de figuier de barbarie selon différent méthode d'extraction (le NaCl témoin).

La figure 24 représente l'évolution de la masse des calculs de phosphate au cours de l'étude de l'activité litholytique des extraits de fleurs d'*Opuntia ficus-indica*, selon les différents modes d'extraction, avec le NaCl utilisé comme témoin. On peut observer une diminution progressive de la masse des calculs au cours du temps, avec une diminution plus importante dans le cas de l'infusion. Cette diminution traduit une dissolution progressive des calculs et suggère ainsi une activité litholytique plus importante de l'infusion. Celle-ci présente le meilleur effet litholytique, avec une masse finale de 0,050 g, tandis que la macération montre l'effet le plus faible, avec une masse finale de 0,118 g.

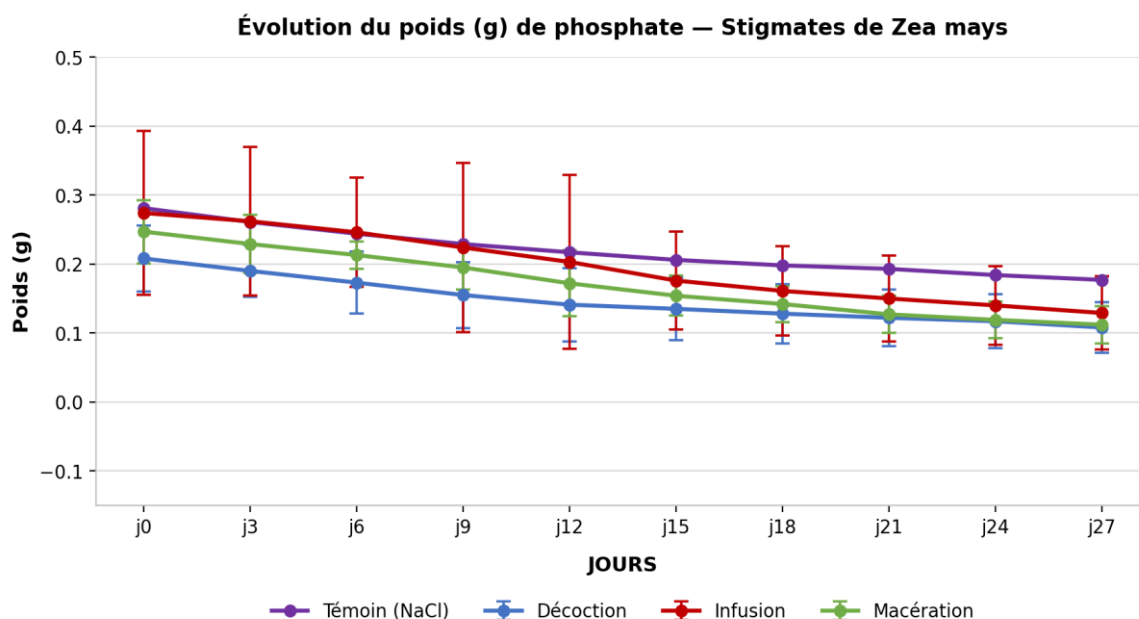


Figure 19: Une courbe représente l'évolution du poids (g) de phosphate de stigmates de *Zea mays* (n = 3) selon différentes méthodes d'extraction (le NaCl témoin)

La figure 25 représente l'évolution de la masse des calculs de phosphate au cours de l'étude de l'activité litholytique des extraits de stigmates de *Zea mays* L., selon les différents modes d'extraction, avec le NaCl utilisé comme témoin. On peut observer une diminution progressive de la masse des calculs au cours du temps pour les différents extraits. Cette diminution traduit une dissolution progressive des calculs et suggère ainsi une activité litholytique des différents extraits.

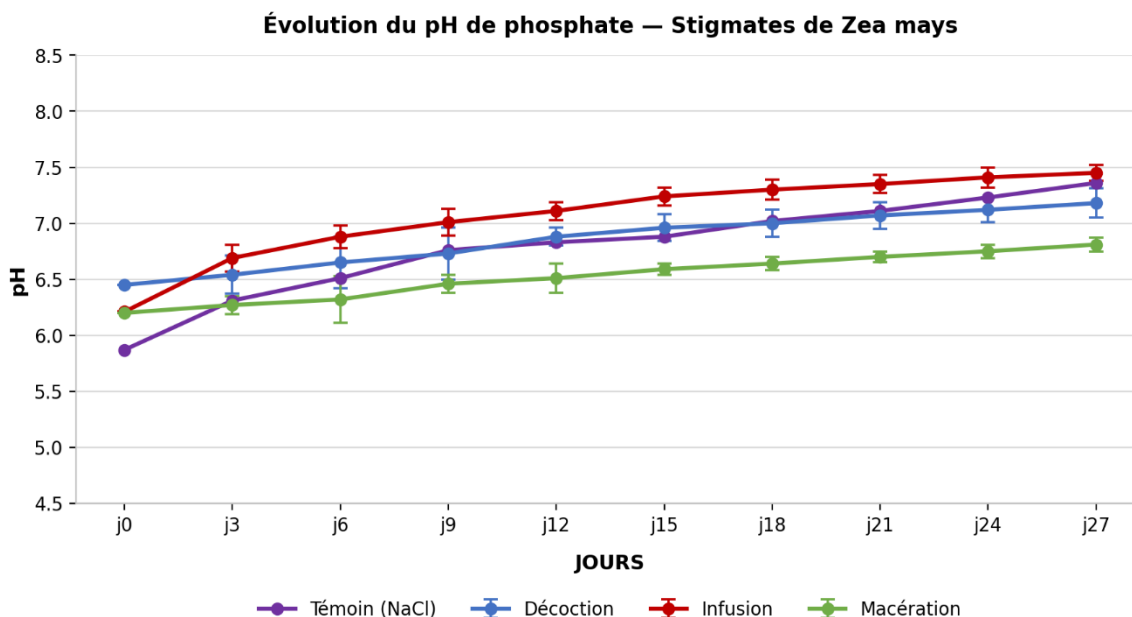


Figure 20: Une courbe représente l'évolution de pH de phosphate de stigmates de *Zea mays* (n = 3) selon différentes méthodes d'extraction (le NaCl témoin)

La figure 26 représente l'évolution de la masse des calculs de phosphate au cours de l'étude de l'activité litholytique des extraits de stigmates de *Zea mays* L., selon les différents modes d'extraction, avec le NaCl utilisé comme témoin. On peut observer une diminution progressive de la masse des calculs au cours du temps pour les différents extraits. Cette diminution est plus importante dans le cas de la décoction, traduisant une dissolution plus importante des calculs et suggérant ainsi une activité litholytique plus élevée. La décoction présente le meilleur effet litholytique, avec une masse finale de 0,108 g, tandis que l'infusion présente le moindre effet, avec une masse finale de 0,129 g.

V.4. Discussion générale

Le screening phytochimique qualitatif réalisé sur les extraits aqueux de stigmates de *Zea mays* L. et de fleurs d'*Opuntia ficus-indica*, préparés par décoction, infusion et macération, a mis en évidence une variabilité dans la présence et l'intensité des différents groupes de composés bioactifs recherchés. Cette variabilité peut être liée à la nature des constituants présents dans chaque espèce ainsi qu'aux conditions d'extraction utilisées. Les résultats obtenus montrent notamment la présence de flavonoïdes, de tanins, de composés réducteurs,

d'alcaloïdes, de polyphénols et de saponosides, avec des différences selon l'espèce végétale et le mode d'extraction.

Les flavonoïdes ont été détectés dans les extraits aqueux obtenus par décoction et infusion des deux espèces, alors qu'aucune réaction caractéristique n'a été observée dans les extraits obtenus par macération. Ces résultats montrent que, dans les conditions expérimentales de notre étude, la décoction et l'infusion ont permis de mettre en évidence les flavonoïdes, contrairement à la macération. Chez les stigmates de *Zea mays*, ces résultats peuvent être rapprochés de ceux rapportés par **Ammor et al. (2021)**, qui ont identifié des flavonoïdes dans des extraits aqueux et hydro-éthanoliques, avec une teneur plus élevée dans l'extrait hydro-éthanolique. Cette différence avec nos résultats peut s'expliquer par la nature du solvant utilisé, puisque l'extrait hydro-éthanolique n'est pas équivalent à un extrait strictement aqueux. La polarité du milieu d'extraction peut en effet influencer la solubilisation et la récupération des composés phénoliques et flavonoïdiques. Une autre étude portant sur un extrait aqueux de stigmates de *Zea mays* obtenu par décoction a également signalé la présence de flavonoïdes (**Kouamé et al., 2025**). Par ailleurs, la littérature rapporte la présence de flavonoïdes spécifiques dans les stigmates de maïs, notamment la maysine, l'apimaysine et des dérivés de l'isoorientine (**Rumalla et al., 2011**).

Concernant les fleurs d'*Opuntia ficus-indica*, la présence des flavonoïdes dans les extraits obtenus par décoction et infusion est en accord avec les travaux d'**Ammar et al. (2015)**, qui ont également rapporté leur présence dans des préparations de fleurs obtenues par ces deux procédés. L'absence de réaction observée dans notre extrait obtenu par macération peut être liée aux conditions spécifiques appliquées lors de cette extraction. Plusieurs paramètres peuvent influencer l'extraction des composés bioactifs, notamment la nature du solvant, la durée d'extraction, la température, le rapport plante/solvant et la concentration finale de l'extrait. À ce titre, **Ammor et al. (2021)** ont montré qu'une macération réalisée avec un solvant hydro-éthanolique à 77 % permettait d'extraire une quantité plus importante de flavonoïdes que l'extraction par ébullition à l'eau. Ces observations montrent que la nature et la polarité du solvant constituent des facteurs importants dans la récupération des composés flavonoïdiques. L'effet de la macération dépend également de la nature du matériel végétal et des paramètres opératoires appliqués (**Rodrigues Oliveira et al., 2026**).

Pour les tanins, les extraits aqueux de stigmates de *Zea mays* préparés par décoction, infusion et macération ont montré une réaction positive, avec une présence particulièrement

marquée dans les résultats obtenus. Ces observations sont cohérentes avec les travaux d'**Ammor et al. (2019)**, qui rapportent la présence de tanins dans des extraits aqueux et hydro-éthanoliques de stigmates de maïs. Cette concordance montre que les tanins peuvent être retrouvés dans différents types d'extraits, leur extraction pouvant toutefois varier selon la nature du solvant et les conditions expérimentales.

Chez les fleurs d'*Opuntia ficus-indica*, les tanins ont également été détectés dans les extraits obtenus par décoction, infusion et macération. Cette présence dans les différents modes d'extraction est en accord avec les données rapportées par **Xiang et al. (2021)**. Elle traduit la présence de composés tanniques dans les fleurs étudiées, indépendamment du procédé d'extraction utilisé dans notre étude.

Concernant les composés réducteurs, les stigmates de *Zea mays* ont montré une présence modérée dans les trois types d'extraits aqueux étudiés. La similarité des résultats obtenus entre la décoction, l'infusion et la macération peut suggérer que les différentes conditions d'extraction ont permis de récupérer ces composés dans des proportions relativement comparables. Les composés réducteurs sont capables de participer à des réactions d'oxydoréduction et peuvent notamment agir comme donneurs d'électrons ou d'hydrogène, contribuant ainsi à la neutralisation de certaines espèces réactives (**Heng et al., 2026**).

Pour les fleurs d'*Opuntia ficus-indica*, les composés réducteurs ont également été retrouvés dans les différents extraits, avec une présence plus marquée. Cette observation peut être rapprochée de la richesse de cette espèce en composés phénoliques et flavonoïdes. Ces constituants sont notamment connus pour leur capacité à piéger les radicaux libres et peuvent ainsi contribuer au potentiel antioxydant rapporté pour les fleurs d'*Opuntia ficus-indica* (**Benayad et al., 2014**).

Concernant les alcaloïdes, les stigmates de *Zea mays* ont présenté une forte réaction positive dans les trois extraits étudiés. Ce résultat est en accord avec les observations rapportées par **Thoudam et al. (2011)**, qui ont également signalé la présence d'alcaloïdes dans cette plante. Pour les fleurs d'*Opuntia ficus-indica*, une forte présence d'alcaloïdes a été observée dans les extraits obtenus par décoction et macération, tandis qu'aucune réaction n'a été observée dans l'extrait obtenu par infusion. Cette différence selon le mode d'extraction peut être liée aux

conditions d'extraction et à la concentration des composés dans les différents extraits. Ces résultats sont comparables à ceux rapportés par **Moussa *et al.* (2021)**.

Pour les mucilages, aucune réaction positive n'a été observée dans les trois extraits de stigmates de *Zea mays*. Ce résultat indique que le test qualitatif utilisé dans nos conditions expérimentales n'a pas permis de mettre en évidence les mucilages dans les extraits étudiés. Cette observation doit toutefois être interprétée avec prudence, car l'absence de réaction au test qualitatif ne signifie pas nécessairement l'absence absolue de ces constituants dans la plante. En effet, **Ma *et al.* (2010)** et **Zickenrott *et al.* (2016)** ont rapporté la production de mucilage chez le maïs, notamment au niveau des tissus racinaires. En revanche, une forte présence de mucilage a été observée dans l'extrait macéré des fleurs d'*Opuntia ficus-indica*. Cette observation concorde avec les travaux de **Rodríguez-González *et al.* (2014)** ainsi que **Mannai *et al.* (2023)**, qui ont rapporté la présence de mucilage chez *Opuntia ficus-indica*.

Pour les polyphénols, les stigmates de *Zea mays* ont montré une forte réaction positive dans les trois extraits aqueux obtenus par décoction, infusion et macération. Ces résultats sont cohérents avec plusieurs travaux rapportant la richesse des stigmates de maïs en composés phénoliques (**Maksimović *et al.*, 2005 ; Solihah *et al.*, 2012 ; Ammor *et al.*, 2019**). De même, les trois extraits de fleurs d'*Opuntia ficus-indica* ont présenté une forte présence de polyphénols. Cette observation confirme la richesse des deux espèces étudiées en composés phénoliques, déjà rapportée dans la littérature.

Concernant les saponosides, le screening qualitatif a révélé une réaction positive dans l'ensemble des extraits étudiés des deux espèces. Chez les stigmates de *Zea mays*, cette réaction était caractérisée par la formation d'une mousse persistante pendant une minute. Ces résultats sont en accord avec les travaux de **Nwafor *et al.* (2023)**, ainsi qu'avec ceux de **Rajeshwari et Sivapriya (2021)**, qui ont signalé la présence de saponosides dans un extrait aqueux de stigmates de *Zea mays*, en association avec d'autres métabolites secondaires tels que les flavonoïdes et les tanins. Chez les fleurs d'*Opuntia ficus-indica*, la présence de saponosides dans les différents extraits rejoint les observations rapportées par **Adam *et al.* (2017)**, qui ont détecté ces composés dans les fleurs d'*Opuntia ficus-indica*. De même, **Welegerima *et al.* (2018)** ont identifié les saponosides dans des extraits de fleurs préparés avec différents solvants.

Dans l'ensemble, le screening phytochimique met donc en évidence une diversité de groupes de métabolites secondaires dans les stigmates de *Zea mays* et les fleurs d'*Opuntia ficus-indica*. Les différences observées entre les modes d'extraction montrent que la méthode utilisée

peut influencer la mise en évidence qualitative de certains composés. Il convient également de distinguer les extraits aqueux utilisés dans notre étude des extraits hydro-éthanoliques décrits dans certaines études bibliographiques, car la nature du solvant peut modifier la solubilité et l'extraction des différents constituants végétaux.

L'étude de l'activité litholytique des différents extraits des deux espèces sur la dissolution des calculs de cystine et de phosphate a ensuite mis en évidence des pourcentages variables de dissolution selon l'espèce végétale et le mode d'extraction.

Pour les calculs de cystine et les différents extraits de fleurs d'*Opuntia ficus-indica*, l'infusion a présenté la diminution de masse la plus importante au cours de la période expérimentale, avec une masse passant de $0,384 \pm 0,084$ g au temps initial à $0,098 \pm 0,071$ g au 27^e jour, correspondant à une réduction d'environ 74,5 %. La décoction a également montré une diminution importante, tandis que la macération a présenté une réduction plus limitée. Ces résultats indiquent que, dans les conditions de notre étude, l'infusion des fleurs d'*Opuntia ficus-indica* a été le mode d'extraction le plus favorable à la dissolution des calculs de cystine.

Pour les calculs de cystine et les extraits de stigmates de *Zea mays* L., la décoction a présenté la diminution de masse la plus importante, passant de $0,301 \pm 0,046$ g à $0,105 \pm 0,149$ g au 27^e jour, soit une réduction d'environ 65,1 %. L'infusion a également montré une diminution importante, correspondant à environ 58,0 %, tandis que la macération n'a entraîné qu'une réduction d'environ 11,1 %. La solution de NaCl utilisée comme référence a présenté une réduction d'environ 13,0 %. Ainsi, parmi les trois modes d'extraction étudiés pour les stigmates de *Zea mays*, la décoction a montré l'effet litholytique le plus marqué sur les calculs de cystine.

Concernant les calculs de phosphate et les différents extraits de fleurs d'*Opuntia ficus-indica*, l'infusion a également présenté l'effet le plus marqué, avec une diminution de la masse des calculs d'environ 75,8 %. Une augmentation progressive du pH du milieu a également été observée au cours de l'expérimentation. Cette évolution du pH s'accompagnait de la diminution de la masse des calculs. Le rôle possible des composés phénoliques présents dans les fleurs d'*Opuntia ficus-indica* a été évoqué, notamment en raison de leurs groupements hydroxyles

susceptibles d'interagir avec certains ions présents dans les calculs de phosphate (El Habbani *et al.*, 2020 ; Ghourri *et al.*, 2024 ; Benayad *et al.*, 2026).

Pour les calculs de phosphate et les extraits de stigmates de *Zea mays* L., les trois modes d'extraction ont également entraîné une diminution de la masse des calculs. La macération a présenté la réduction la plus importante, avec une diminution de $0,247 \pm 0,046$ g à $0,112 \pm 0,027$ g, soit environ 54,7 %, suivie de l'infusion avec une réduction d'environ 52,9 %, puis de la décoction avec environ 48,1 %. La solution de NaCl utilisée comme témoin a présenté une réduction d'environ 37,0 %. Une augmentation progressive du pH du milieu de dissolution a également été observée pour les trois modes d'extraction.

Globalement, les résultats litholytiques montrent une activité variable selon la nature du calcul, l'espèce végétale et le mode d'extraction. Les fleurs d'*Opuntia ficus-indica* ont présenté les réductions les plus importantes, notamment sous forme d'infusion, alors que les stigmates de *Zea mays* ont également montré une activité notable, particulièrement avec la décoction pour les calculs de cystine. L'augmentation du pH observée parallèlement à la diminution de la masse des calculs suggère que les modifications du milieu de dissolution pourraient participer au phénomène observé. Ces résultats sont en accord avec les travaux rapportant l'intérêt de certains extraits végétaux aqueux dans les phénomènes de dissolution des calculs urinaires (Meiouet *et al.*, 2011 ; Belmamoun *et al.*, 2022).

Conclusion

Conclusion

Au terme de cette étude, consacrée à l'évaluation phytochimique et de l'activité litholytique in vitro des extraits d'*Opuntia ficus-indica* et de *Zea mays L*, il ressort que ces deux espèces végétales présentent un potentiel intéressant dans la dissolution des calculs urinaires étudiés.

Les résultats obtenus montrent une diminution progressive de la masse des calculs de cystine et de phosphate au cours de l'expérimentation, avec des différences selon l'espèce végétale et le mode d'extraction. Pour les calculs de cystine, l'infusion des fleurs d'*Opuntia ficus-indica* a présenté la réduction de masse la plus importante, avec une diminution de $0,384 \pm 0,084$ g à $0,098 \pm 0,071$ g, soit environ 74,5 %, tandis que la décoction des stigmates de *Z. mays* a permis une réduction d'environ 65,1 %, passant de $0,301 \pm 0,046$ g à $0,105 \pm 0,149$ g. À l'inverse, la macération des stigmates a montré la réduction la plus faible, d'environ 11,1 %.

Concernant les calculs de phosphate, l'infusion des fleurs d'*Opuntia ficus-indica* a également présenté la diminution la plus importante, avec une masse passant de $0,207 \pm 0,094$ g à $0,050 \pm 0,064$ g, correspondant à une réduction d'environ 75,8 %. Pour les stigmates de *Zea mays*, la décoction a montré la réduction la plus élevée, passant de $0,208 \pm 0,048$ g à $0,108 \pm 0,037$ g, soit environ 48,1 %. Ces résultats mettent ainsi en évidence une efficacité litholytique variable selon la nature du calcul, l'espèce végétale et le mode d'extraction. Parallèlement, la dissolution des calculs est souvent accompagnée par une augmentation globale du pH du milieu, atteignant l'alcalinité.

La comparaison des deux espèces montre une activité litholytique globalement plus importante pour les extraits des fleurs d'*Opuntia ficus-indica* que pour ceux des stigmates de *Zea mays L*, avec des réductions maximales de 74,5 % et 75,8 % pour les calculs de cystine et de phosphate, respectivement.

Cette étude met en évidence le potentiel dissolvant des fleurs d'*Opuntia ficus-indica* et des stigmates de *Zea mays* comme sources végétales susceptibles d'être valorisées dans la recherche de nouvelles approches naturelles contre la lithiase urinaire.

En perspective

Il est souhaitable de poursuivre cette étude par :

- ✓ Des travaux complémentaires, notamment l'identification des composés responsables de cette activité, l'étude de leurs mécanismes d'action et la confirmation de ces effets par des modèles expérimentaux complémentaires, seraient nécessaires afin de mieux caractériser et valoriser ce potentiel.
- ✓ Des investigations complémentaires, notamment sur d'autres types de calculs et à travers des modèles expérimentaux appropriés, permettraient également de mieux confirmer ces résultats et d'évaluer le potentiel de ces espèces dans le développement de nouvelles approches naturelles contre la lithiase urinaire.
- ✓ La réalisation des études in vivo pour mieux comprendre le mécanisme d'action des molécules bioactives extraites des plantes connues par leurs vertus thérapeutiques

Références

Bibliographiques

Références bibliographiques

- **Abdin, M., El-Beltagy, A. E., Naeem, M. A., et al. (2023).** Characterisation, rheological properties and immunomodulatory efficiency of corn silk polysaccharides. *International Journal of Food Science & Technology*, 58(4), 2050–2059. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15832>.
- **Adam, I. K., Unogu, O. I., & Yusuf, M. B. (2017).** Studies on phytochemical and antioxidant properties of *Opuntia ficus-indica*. *Dutse Journal of Pure and Applied Sciences*, 3(1), 134–141.
- **Alelign, T., & Petros, B. (2018).** Kidney stone disease: An update on current concepts. *Advances in Urology*, 2018, Article 3068365. <https://doi.org/10.1155/2018/3068365>
- **Allam, E. A. H. (2024).** Urolithiasis unveiled: Pathophysiology, stone dynamics, types, and inhibitory mechanisms: A review. *African Journal of Urology*, 30, 34. <https://doi.org/10.1186/s12301-024-00436-z>.
- **Ammar, I., Ennouri, M., Bouaziz, M., Ben Amira, A., & Attia, H. (2015).** Phenolic profiles, phytochemicals and mineral content of decoction and infusion of *Opuntia ficus-indica* flowers. *Plant Foods for Human Nutrition*, 70(4), 388–394. <https://doi.org/10.1007/s11130-015-0505-6>
- **Ammor, K., Amarti, F. E., Lagzizir, R., Mahjoubi, F. Z., Bousta, D., & Chaqroune, A. (2021).** Study of antioxidant, anti-inflammatory, antinociceptive activities and toxicity of stigmata of *Zea mays* extracts. *Phytothérapie*, 19(4), 216–225. <https://doi.org/10.3166/phyto-2019-0209>
- **Aourabi, S., Sfaira, M., & Mahjoubi, F. (2020).** Optimization of ultrasound-assisted extraction of polyphenol content from *Zea mays* hairs (waste). *The Scientific World Journal*. <https://doi.org/10.1155/2020/1234567>
- **Bargagli, M., Scoglio, M., Howles, S. A., & Fuster, D. G. (2025).** Kidney stone disease: Risk factors, pathophysiology and management. *Nature Reviews Nephrology*, 21(11), 794–808. <https://doi.org/10.1038/s41581-025-00990-x>

- **Belmamoun, A., Ammam, A., Chadli, R., Mhamdia, C., & Baki, A. (2022).** Phytotherapy of urinary calculi: The mass reduction of calcium oxalate stones *in vitro* by the aqueous extract of *Urtica dioica* L. *International Journal of Minor Fruits, Medicinal and Aromatic Plants*.
- **Benayad, Z. B., Gomez-Cordoves, C., & Es-Safi, M. E. (2014).** Phenolic composition, antioxidant and anti-inflammatory activities of extracts from Moroccan *Opuntia ficus-indica* flowers obtained by different extraction methods. *Industrial Crops and Products*, 62, 252–265.
- **Bouhrim, M., et al. (2021).** *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.: Phytochemical composition and pharmacological properties.
- **Brahmi, F., Blando, F., Sellami, R., Mehdi, S., De Bellis, L., Negro, C., Haddadi-Guemghar, H., Madani, K., & Makhoul-Boulekbache, L. (2022).** Optimization of the conditions for ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from *Opuntia ficus-indica* [L.] Mill. flowers and comparison with conventional procedures. *Industrial Crops and Products*. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114694>
- **Carmo, J. S., Nogueira, J. M. R., & Silva, L. O. P. (2022).** The importance of microbiological quality control in phytotherapy products and medicinal plants. *Research, Society and Development*, 11(10). <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i10.33001>
- **Cornish, K., & Xie, W. (2021).** Natural rubber biosynthesis in plants: Rubber transferase. *Methods in Enzymology*, 515, 63–82. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394290-6.00004-5>
- **Dai, J. C., & Pearle, M. S. (2022).** Diet and stone disease in 2022. *Journal of Clinical Medicine*, 11(16), 4740. <https://doi.org/10.3390/jcm11164740>
- **Daudon, M., Haymann, J. P., Estrade, V., Meria, P., & Almeras, C. (2023).** Recommendations of the AFU Lithiasis Committee: Epidemiology, stone analysis and composition. *Progrès en Urologie*, 33(14), 737–765.
- **Dell'Aversana, F., Pezzullo, M., & Scaglione, M. (2025).** Imaging in urolithiasis. *Urologic Clinics of North America*, 52(1), 51–59. <https://doi.org/10.1016/j.ucl.2024.07.007>

- **Dias, M. C., Pinto, D. C. G. A., & Silva, A. M. S. (2021).** Plant flavonoids: Chemical characteristics and biological activity. *Molecules*, 26(17), 5377. <https://doi.org/10.3390/molecules26175377>
- **Ding, L., Ren, S., Song, Y., Zang, C., Liu, Y., Guo, H., Yang, W., Guan, H., & Liu, J. (2022).** Modulation of gut microbiota and fecal metabolites by corn silk among high-fat diet-induced hypercholesterolemia mice. *Frontiers in Nutrition*, 9, 935612. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.935612>
- **Djelloul, Z., Djelloul, A., Bedjaoui, A., Kaid-Omar, Z., Attar, A., Daudon, M., & Addou, A. (2006).** Lithiase urinaire dans l'Ouest algérien : étude de la composition de 1354 calculs urinaires en relation avec leur localisation anatomique, l'âge et le sexe des patients. *Progrès en Urologie*, 16, 328–335.
- **Dong, W., Zhao, Y., Li, X., Huo, J., & Wang, W. (2023).** Corn silk polysaccharides attenuate diabetic nephropathy through restoration of the gut microbial ecosystem and metabolic homeostasis. *Frontiers in Endocrinology*, 14, 1232132. <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1232132>
- **El Habbani, R., Chaqroune, A., Sqalli Houssaini, T., Arrayhani, M., & Lahrichi, A. (2015).** Contribution to the study of the mass reduction of stones by some medicinal plants. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 4(4), 1867–1875. <https://doi.org/10.15680/IJRSET.2015.0404008>
- **El Habbani, R., Lahrichi, A., Sqalli Houssaini, T., Kachkoul, R., Mohim, M., Chouhani, B. A., & Chaqroune, A. (2021).** *In vitro* mass reduction of calcium oxalate urinary calculi by some medicinal plants. *African Journal of Urology*, 27, Article 28. <https://doi.org/10.1186/s12301-021-00132-2>
- **Fagbohoun, L., Fagbohoun, J., & Propos, A. (2014).** *Étude chimique de colorants naturels et matériaux résineux traditionnels au Bénin dans le domaine artisanal.*
- **Faouzi, H. (2015).** Le figuier de Barbarie (*Opuntia ficus-indica*) : Un produit de terroir pour le développement local ? Aknari des Aït Baâmrane (Anti-Atlas occidental, Maroc). *Les Cahiers d'Outre-Mer*, 271, 375–400. <https://doi.org/10.4000/com.7546>

- **Ferreira, M.-J. U. (2022).** Alkaloids in future drug discovery. *Molecules*, 27(4), 1347. <https://doi.org/10.3390/molecules27041347>
- **Giraldo-Silva, L., et al. (2023).** *Opuntia ficus-indica* fruit: A systematic review of its phytochemicals and pharmacological activities. *Plants*, 12(3), 543.
- **Hannache, B. (2014).** *La lithiase urinaire : Épidémiologie, rôle des éléments traces et des plantes médicinales* [Thèse de doctorat, Université Paris-Sud]. HAL Thèses.
- **Hannache, B., Bazin, D., Boutefnouchet, A., & Daudon, M. (2012).** Effet des extraits de plantes médicinales sur la dissolution des calculs rénaux de cystine *in vitro* : Étude à l'échelle mésoscopique. *Progrès en Urologie*, 22(11), 658–665. <https://doi.org/10.1016/j.purol.2012.06.001>
- **Haymann, J.-P., Livrozet, M., Rode, J., Doizi, S., Traxer, O., Frochot, V., Letavernier, E., Bazin, D., & Daudon, M. (2021).** La cystinurie et ses traitements : Une approche physiopathologique. *Progrès en Urologie - FMC*, 31(1), F1–F7. <https://doi.org/10.1016/j.fpurol.2019.10.001>
- **Heng, B. L., Wu, F. Y., Tong, X. Y., & Ouyang, J. M. (2026).** Corn silk (*Stigma maydis*) as a source of therapeutic agents: A comprehensive review of phytochemicals, antioxidant and anticancer properties, and clinical translation challenges. *The Natural Products Journal*, 16(8).
- **Hesse, A., Brändle, E., Wilbert, D., Köhrmann, K. U., & Alken, P. (2003).** Study on the prevalence and incidence of urolithiasis in Germany comparing the years 1979 vs. 2000. *European Urology*, 44(6), 709–713.
- **Hladik, A., & Hladik, C. M. (1977).** Significations écologiques des teneurs en alcaloïdes des végétaux de la forêt dense : Résultat des tests préliminaires effectués au Gabon.
- **Hosseini, M., & Pereira, D. M. (2021).** The chemical space of terpenes: Insights from data science and AI.
- **Hsiang, C. Y., Lo, H. Y., Lu, G. L., Liao, P. Y., & Ho, T. Y. (2024).** A novel heat-stable angiotensin-converting enzyme zinc-binding motif inhibitory peptide identified from corn

silk. *Journal of Ethnopharmacology*, 320, 117435.
<https://doi.org/10.1016/j.jep.2023.117435>.

- **Hughes, T., Ho, H. C., Pietropaolo, A., & Somani, B. K. (2020).** Guideline of guidelines for kidney and bladder stones. *Turkish Journal of Urology*, 46(Suppl. 1), S104–S112.
<https://doi.org/10.5152/tud.2020.20315>
- **Kachkoul, R., Touimi, G. B., El Mouhri, G., El Habbani, R., Mohim, M., & Lahrichi, A. (2023).** Urolithiasis: History, epidemiology, aetiologic factors and management. *Malaysian Journal of Pathology*, 45(3), 333–352.
- **Karki, N., & Leslie, S. W. (2023).** Struvite and triple phosphate renal calculi. In *StatPearls*. StatPearls Publishing.
- **Kechebar, M. S. A., Karoune, S., Laroussi, K., & Djellouli, A. (2017).** Phenolic composition and antioxidant activities of *Opuntia ficus-indica* L. cladodes related to extraction method. *International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research*, 9(6), 744–749. <https://doi.org/10.25258/phyto.v9i6.8171>
- **Kim, Y., Choi, H. N., Kim, T., et al. (2022).** Corn silk extract prevents carrageenan-induced inflammatory edema. *Food Supplements and Biomaterials for Health*, 2(1), e9. <https://doi.org/10.52361/fsbh.2022.2.e9.E-FSBH>
- **Kouamé, Y. Y., Miezan, B. A. P., & Kamagaté, T. (2025).** Evaluation of the glycemie reducing effect of the aqueous extract of *Zea mays* stigmas through oral stimulated hyperglycemia test. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 14(5), 652–656. <https://doi.org/10.22271/phyto.2025.v14.i5h.15630>
- **Kristanti, Y., Widarta, I. R., & Permana, I. M. (2019).** Pengaruh waktu ekstraksi dan konsentrasi etanol menggunakan metode microwave assisted extraction (MAE) terhadap aktivitas antioksidan ekstrak rambut jagung (*Zea mays* L.). *Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan (ITEPA)*.
- **Kurek, J. (2022).** Introductory chapter: Alkaloids—Their importance in nature and human life. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.101221>

- **Labouiz, A. (2025).** *Apport de la chimiométrie combinée à la spectrophotométrie infrarouge dans le diagnostic des lithiases urinaires* [Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar–Annaba, Faculté de Médecine]. DSpace Université Badji Mokhtar–Annaba.
- **Li, P., Ren, G., Sun, Y., Jiang, D., & Liu, C. (2023).** Extraction optimization, preliminary identification, and bioactivities in corn silk. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2023, 5685174. <https://doi.org/10.1155/2023/5685174>
- **Liu, Y., Chen, Y., Liao, B., Luo, D., Wang, K., Li, H., et al. (2018).** Epidemiology of urolithiasis in Asia. *Asian Journal of Urology*, 5(4), 205–214.
- **Ma, W., Muthreich, N., Liao, C., Franz-Wachtel, M., Schütz, W., Zhang, F., Hochholdinger, F., & Li, C. (2010).** The mucilage proteome of maize (*Zea mays* L.) primary roots. *Journal of Proteome Research*.
- **Maksimović, Z., Malenčić, Đ., & Kovačević, N. (2005).** Polyphenol contents and antioxidant activity of *Maydis stigma* extracts. *Bioresource Technology*, 96, 873–877.
- **Mannai, F., Elhleli, H., Yilmaz, M., Khiari, R., Belgacem, M. N., & Moussaoui, Y. (2023).** Precipitation solvents effect on the extraction of mucilaginous polysaccharides from *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae): Structural, functional and rheological properties. *Industrial Crops and Products*, 202, 117072. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117072>
- **Martins, M., Ribeiro, M. H., & Almeida, C. M. M. (2023).** Physicochemical, nutritional and medicinal properties of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. and its main agro-industrial use: A review. *Plants*, 12(7), 1512. <https://doi.org/10.3390/plants12071512>
- **Meiouet, F., El Kabbaj, S., & Daudon, M. (2011).** *In vitro* study of the litholytic effects of herbal extracts on cystine urinary calculi. *Progrès en Urologie*, 21(1), 40–47. <https://doi.org/10.1016/j.purol.2010.05.009>
- **Moulessehoul, A., & Harrache, D. (2024).** Effets des extraits aqueux de stigmatte de maïs *Zea mays* sur la cristallisation de la brushite dans l'urine totale. *Phytothérapie*, 22(3), 179–186. <https://doi.org/10.3166/phyto-2024-0418>

- **Moussa, A., Abdallah, B. A., & El-Sayed, M. (2021).** Phytochemical characterization and antioxidant activity of *Opuntia ficus-indica* flower extracts. *International Journal of Food Science and Technology*, 56(5), 270–280.
- **National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases. (2023).** *Kidney stones*. National Institutes of Health.
- **Nwafor, R. N., Nwokonkwo, D. C., & Oti, W. (2023).** Phytochemical screening and antimicrobial potency of corn silk (*Zea mays* stigma) from corn planted in Abakaliki metropolis of Ebonyi State, Nigeria. *IAA Journal of Applied Sciences*, 9(1), 74–83. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7811643>
- **Otálvaro, Á. M., et al. (2023).** Plant alkaloids: Biosynthesis and biological activities. *Plants*.
- **Panche, A. N., Diwan, A. D., & Chandra, S. R. (2016).** Flavonoids: An overview. *Journal of Nutritional Science*, 5, e47. <https://doi.org/10.1017/jns.2016.41>
- **Raja, A., Wood, F., & Joshi, H. B. (2020).** The impact of urinary stone disease and their treatment on patients' quality of life: A qualitative study. *Urolithiasis*, 48(3), 227–234. <https://doi.org/10.1007/s00240-019-01142-0>
- **Rajeshwari, H., & Sivapriya, T. (2021).** Analysis of nutrients, phytochemicals, antioxidant and antimicrobial activity of corn silk extract (*Zea mays* L. stigma). *International Journal of Health & Allied Sciences*, 10(4), 275–279. https://doi.org/10.4103/ijhas.IJHAS_148_20
- **Rodrigues Oliveira, H., Oliveira Vasconcelos, C., De Souza Silva, L., Martins Cardoso, T., Souza Castro, L., Pereira Ferreira Santos, W., Mayra Hungria Pinto, E., De Almeida Ribeiro Oliveira, G., Riccio Queiroz, M., Pereira Martins, M., & De Almeida Ribeiro Oliveira, L. (2026).** Influence of extraction method and solvent polarity on flavonoid content and antioxidant activity of three Cerrado species. *Journal of Medicinal Plants Research*, 20(4), 61–73. <https://doi.org/10.5897/JMPR2026.7434>
- **Rodríguez-González, S., Martínez-Flores, H., Chávez-Moreno, C. K., Macías-Rodríguez, L., Zavala-Mendoza, E., Garnica-Romo, M. G., & Chacón-García, L.**

- (2014). Extraction and characterization of mucilage from wild species of *Opuntia*. *Journal of Food Process Engineering*.
- **Rumalla, C. S., Avula, B., Wang, Y.-H., Smillie, T. J., Webster, D. E., Kim, C. H., Bejar, E., & Khan, I. A. (2011).** Chemical fingerprint analysis of *Zea mays* L. (corn silk) flavonoids in commercial extracts using HPTLC. *Planta Medica*, 77, P_71. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1273600>
 - **Ryuk, J. A., Ko, B. S., Moon, N. R., & Park, S. (2022).** Protection against neurological symptoms by consuming corn silk water extract in artery-occluded gerbils with reducing oxidative stress, inflammation, and post-stroke hyperglycemia through the gut-brain axis. *Antioxidants*, 11(1), 168. <https://doi.org/10.3390/antiox11010168>.
 - **Scales, C. D., Jr., Desai, A. C., Harper, J. D., Lai, H. H., Maalouf, N. M., Reese, P. P., Tasian, G. E., Al-Khalidi, H. R., Kirkali, Z., & Wessells, H. (2021).** Prevention of urinary stones with hydration (PUSH): Design and rationale of a clinical trial. *American Journal of Kidney Diseases*, 77(6), 898–906.e1. <https://doi.org/10.1053/j.ajkd.2020.09.016>
 - **Sell, C. S. (2019).** *A fragrant introduction to terpenoid chemistry*. Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/9781788018326>
 - **Singh, J., Inbaraj, B. S., Kaur, S., Rasane, P., & Nanda, V. (2022).** Phytochemical analysis and characterization of corn silk (*Zea mays*, G5417). *Agronomy*, 12(4), 777.
 - **Skolarikos, A., Somani, B., Neisius, A., Jung, H., Petřík, A., Tailly, T., Davis, N., Tzelves, L., Geraghty, R., Lombardo, R., Bezuidenhout, C., & Gambaro, G. (2024).** Metabolic evaluation and recurrence prevention for urinary stone patients: An EAU guidelines update. *European Urology*, 86(4), 343–363. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2024.05.029>
 - **Solihah, M., Rosli, W., & Nurhanan, A. (2012).** Phytochemicals screening and total phenolic content of Malaysian *Zea mays* hair extracts. *International Food Research Journal*.
 - **Soni, R., & Kumar, S. (2023).** *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae): A review. In *Unexplored food plants*. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7762258>

- Sorokin, I., Mamoulakis, C., Miyazawa, K., Rodgers, A., Talati, J., & Lotan, Y. (2017). Epidemiology of stone disease across the world. *World Journal of Urology*, 35(9), 1301–1320.
- Spradling, K., Ganesan, C., & Conti, S. (2022). Medical treatment and prevention of urinary stone disease. *Urologic Clinics of North America*, 49(2), 335–344. <https://doi.org/10.1016/j.ucl.2021.12.007>
- Tamborino, F., Cicchetti, R., Mascitti, M., Litterio, G., Orsini, A., Ferretti, S., Basconi, M., De Palma, A., Ferro, M., Marchioni, M., & Schips, L. (2024). Pathophysiology and main molecular mechanisms of urinary stone formation and recurrence. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(5), 3075. <https://doi.org/10.3390/ijms25053075>
- Tefekli, A., & Cezayirli, F. (2013). The history of urinary stones: In parallel with civilization. *The Scientific World Journal*, 2013, 1–5.
- Tholl, D. (2015). Biosynthesis and biological functions of terpenoids in plants. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*, 148, 63–106. https://doi.org/10.1007/10_2014_295
- Thoudam, B., Kirithika, T., Ramya, J., & Usha, K. (2011). Phytochemical constituents and antioxidant activity of various extracts of corn silk (*Zea mays* L.). *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 2(4), 986.
- Twaij, B. M., & Hasan, M. N. (2022). Bioactive secondary metabolites from plant sources: Types, synthesis, and their therapeutic uses. *International Journal of Plant Biology*, 13(1), 4–14. <https://doi.org/10.3390/ijpb13010003>
- Vitale, S., Colanero, S., Placidi, M., et al. (2022). Phytochemistry and biological activity of medicinal plants in wound healing: An overview of current research. *Molecules*, 27(11), 3566. <https://doi.org/10.3390/molecules27113566>
- Wang, X., et al. (2022). Integrated molecular biology and metabonomics approach to understand the mechanism underlying reduction of insulin resistance by corn silk decoction. *Journal of Ethnopharmacology*, 284, 114756. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114756>

- **Wang, Y., et al. (2024).** An umbrella insight into the phytochemistry features and biological activities of corn silk: A narrative review. *Molecules*, 29(4), 891. <https://doi.org/10.3390/molecules29040891>
- **Welegerima, G., Zemene, A., & Tilahun, Y. (2018).** Phytochemical composition and antibacterial activity of *Opuntia ficus-indica* cladodes extracts. *Journal of Medicinal Plants Studies*, 6(2), 243–246.
- **Xiang, L., Zhang, Y., Liu, M., & Wang, J. (2021).** Antioxidant activities and phytochemical analysis of *Opuntia ficus-indica* flowers. *Journal of Food Science*, 86(3), 123–134.
- **Zhang, Y., Yao, L., Liu, Y., Chen, B., Wang, C., Gong, K., Wang, F., & Qiao, Y. (2023).** Acidic polysaccharide from corn silk: Structural & conformational properties and hepatoprotective activity. *International Journal of Biological Macromolecules*, 236, 123851. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123851>
- **Zhang, Z., Wang, S., Liu, Q., et al. (2024).** Extraction, purification, structural characteristics, and pharmacological activities of the polysaccharides from corn silk: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 274, 133433. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.133433>
- **Zhou, W.-Y., Niu, J.-Q., Yao, G.-D., Huang, X.-X., & Song, S.-J. (2023).** Utilization of the by-product of corn: Guided identification of bioactive terpenoids from *Stigma maydis* (corn silk). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(7), 3338–3349. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c08452>
- **Zickenrott, I.-M., Woche, S. K., Bachmann, J., Ahmed, M. A., & Vetterlein, D. (2016).** An efficient method for the collection of root mucilage from different plant species: A case study on the effect of mucilage on soil water repellency. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 179(2), 294–302. <https://doi.org/10.1002/jpln.201500511>
- **Zimmermann-Klemd, A., Reinhardt, J. K., Winker, M., & Gründemann, C. (2022).** Phytotherapy in integrative oncology An update of promising treatment options. *Molecules*, 27(10), 3209. <https://doi.org/10.3390/molecules27103209>