الجـــمـــهوريـــــة الـجـــــزائريـــــة الـديمقـــراطيـــة الـشعبيـــــة
People's Democratic Republic of Algeria
وزارة الـتـعـليـــــم الـعـالـي و الـبـحـث الـعـلـــــمـي
Ministry of Higher Education and Scientific Research
جـــــامـعـــــة عبد الحميـــد بن باديـــس – مستغانـــــم
Abdel Hamid Ibn Badis University – Mostaganem
كليـــــــة علوم الطبيعية و الحياة
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
قـسم الفلاحة
Département d'agronomie

N° d'ordre : M2… /2026

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Protection des végétaux

Evaluation de l'effet bioinsecticide des extraits d'*Urtica dioica* et de *Sapindus mukorossi* à l'égard de la cochenille farineuse du figuier de barbarie "*Dactylopius opuntiae*"

Présenté par :

MENDJAR Abdelkader Adnane

BELKENADEL Mohamed El Amine

Soutenu devant le jury composé de :

Président:	**SAIAH FARIDA**	**MCB**	**Université de Mostaganem**
Encadrante :	**BOUALAM MALIKA**	**Professeure**	**Université de Mostaganem**
Examinatrice :	**BERGHEUL SAIDA**	**MCA**	**Université de Mostaganem**
Co-Encadrante:	**KEDDAR FAYZA**	**Docteur**	**Université de Mostaganem**

Année universitaire 2025 / 2026

Remerciements

Louange à Dieu, le Tout-Puissant, qui nous a accordé la santé, le courage et la patience nécessaires pour mener à terme ce travail.

*On tient à exprimer notre profonde gratitude à notre promotrice, Professeure **BOUALAM Malika**, de l'Université de Mostaganem, pour avoir encadré ce travail. On la remercie pour sa disponibilité, ses conseils, sa rigueur scientifique et la confiance qu'elle nous a accordé tout au long de cette étude.*

*Nos remerciements s'adressent également à Mlle **KEDDAR Fayza**, (Docteur co-directrice de mémoire) pour l'aide et le soutien qu'elle nous a apporté durant ce travail.*

*Nos remerciements vont également aux membres du jury, qui nous font l'honneur d'évaluer ce mémoire : Mme **Saiah Farida**, qui a accepté de présider le jury, et Mme **Bergheul Saida**, Examinatrice, qui a accepté d'examiner ce travail. On les remercie pour le temps consacré à la lecture de ce mémoire et pour leurs remarques et suggestions.*

*On remercie Madame **Boualam**, qui a procédé à l'identification des espèces végétales étudiées, ainsi que le personnel de la ferme expérimentale de l'Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem pour son aide lors de la collecte des échantillons.*

Nos remerciements s'adressent aussi à l'ensemble des enseignants du Département d'agronomie, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, qui ont contribué à notre formation, ainsi qu'au personnel technique et administratif des laboratoires pour leurs accueil et leur soutien durant la partie expérimentale.

Enfin, on remercie toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

À mes chers parents, Mohamed et Djamila, et à ma chère grand-mère, pour leur amour, leurs sacrifices et leurs prières, qui ont été ma source de force et de motivation tout au long de mon parcours.

Que Dieu vous protège et vous accorde santé et longue vie.

À mes frères et sœurs :

El hadj, Abed, Farida, Faiza et Ismahene

À ma famille et à mes proches :

Karim et Amine

À mes ami(e)s et camarades de promotion :

Walid, Ilyes et Mohamed

À toutes les personnes qui me sont chères

À tous ceux qui m'ont encouragé et soutenu pendant ces années d'études.

Mendjar abdlkader adnane

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

À mes chers parents Miloud et Noria, pour leur amour, leurs sacrifices et leurs prières, qui ont été ma source de force tout au long de mon parcours. Que Dieu vous protège et vous accorde santé et longue vie.

À mon frère:

Abdelkader

À ma famille et à mes proches :

Mostafa, Fadi et Mohamed

À mes ami(e)s et camarades de promotion :

Walid, Ilyes, Abdelkader

À toutes les personnes qui me sont chères

À tous ceux qui m'ont encouragé et soutenu pendant ces années d'études.

Belkenadel Mohamed El Amine

Table des matières

Remerciements

Dédicace

Résumé

Introduction générale

Chapitre I : Généralités sur Opuntia ficus indica

I. Origine et diffusion ……..4

II. Définition ..... Erreur ! Signet non défini.

III. Classification..... 6

IV. Biologie du figuier de Barbarie……7

V. Exigences écologiques……...10

VI. Description morphologique……10

VII. Physiologie 12

VIII. Reproduction du figuier de Barbarie…….13

IX. Distribution en Algérie……...6

X. Composition biochimique de la figue de Barbarie……Erreur ! Signet non défini.

XI. Propriétés nutritionnelles et thérapeutiques de la figue de Barbarie……14

XI.1. Propriétés nutritionnelles ..... Erreur ! Signet non défini.

XI.2. Propriétés thérapeutiques..... Erreur ! Signet non défini.

XII. Utilisations de la figue de Barbarie……..15

XIII. Maladies du figuier de Barbarie……16

XIII.1. Maladies causées par les virus..... 16

XIII.2. Maladies causées par les bactéries 17

XIII.3. Maladies causées par les levures 17

XIII.4. Maladies causées par les champignons..... 17

XIII.5. Maladies causées par les ravageurs 20

Chapitre II : La cochenille d'Opuntia ficus-indica Dactylopius opuntiae

I. La cochenille du cactus (*Dactylopius opuntiae*)……24

II. Biologie et cycle de vie de *Dactylopius opuntiae*……..24

II.1. Premier stade larvaire..... 26

II.2. Deuxième stade larvaire..... 26

II.3. Stade adulte..... 26

III. Dégâts de *Dactylopius opuntiae* en Algérie……27

IV. Méthodes de lutte contre *Dactylopius opuntiae*……..28

IV.1. Lutte mécanique et physique..... 28

IV.2. Lutte chimique..... 28

IV.3. Lutte biologique..... 28

Chapitre III : Plante médicinale

L'ortie dioïque (Urtica dioica L.) et le fruit de savonniers (Sapindus mukorossi)..... 29

I. L'ortie dioïque (Urtica dioica L.)..... 30

I.1. Définition..... Erreur ! Signet non défini.

I.2. Classification et caractères botaniques 30

I.3. Origine..... 31

I.4. Habitat et répartition géographique..... 32

I.5. Morphologie..... 33

I.6. Cycle biologique..... 34

***II. Sapindus mukorossi*……....35**

II.1. Définition ..... Erreur ! Signet non défini.

II.2. Taxonomie de *Sapindus mukorossi*..... 36

II.3. Répartition géographique 36

II.4. Étymologie **38**

II.5. Description botanique **38**

II.6. Propriétés biologiques de *Sapindus mukorossi* **40**

Chapitre IV : Matériel et méthodes **43**

I. Le matérielVégétal……..**44**

I.1. Urtica dioica **44**

I.2. Sapindus mukorossi **44**

II.L'extractiondespolyphénols……..**45**

II.1. Le principe de l'éxtraction de l'ortie (*Urtica dioica*) à l'éthanol **45**

II.2. Protocole de macération des fruits de savonnier (*Sapindus mukorossi)* .. **46**

III. Préparation des dilutions **47**

IV. l'activité insecticide **47**

Chapitre V : Résultats et discussion

I. Rendement **50**

II. Activité insecticide chez la cochenielle **50**

II.1. L'utilisation d'extrait phénolique d'*U. dioica* **50**

II.2. L'utilisation d'extrait de fruit de savonnier **52**

II.3. L'utilisation d'extrait en synergie **56**

III. Activité insecticide chez les œufs **60**

IV. La dose létale DL 50……**52**

IV.1. Calcule de DL_{50} ..... Erreur ! Signet non défini.

V. Discussion **60**

Conclusion générale et perspective **64**

Références bibliographiques **70**

Annexe ..... Erreur ! Signet non défini.

Liste des figures

Figure 1 : Répartition mondiale d'Opuntia ficus-indica 6

Figure 2 : Opuntia ficus indica..... 4

Figure 3 : Le figuier de Barbarie : a) la plante : variété inerme, b) variété asperme, c) les cladodes, d) les aréoles, e) les fleurs, f) le fruit (Cliché, Neffar, 2008 sauf Fig. 3d). 9

Figure 4 : Aspect général d'Opuntia ficus indica 11

Figure 5 : Photosynthèse de type CAM 13

Figure 6 : La germination d'une graine d'Opuntia 14

Figure 7 : Intérêt nutritionnel et thérapeutique de la figue de barbarie 15

Figure 8 : Symptômes d'une infestation par Dactylopius opuntiae sur les cladodes du figuier de Barbarie 22

Figure 9 : Cladode d'O.ficus-indica D. opuntiae 24

Figure 10 : Cycle biologique de l'œuf à l'adulte..... 25

Figure 11 : Le mâle et la femelle de la cochenille, *Dactylopius opuntiae* 26

Figure 12 : Localisation d'infestation d'O. ficusindica par D. opuntiae dans la région de Tlemcen 27

Figure 13 : *L'ortie dioïque*..... 31

Figure 14 : *Ortie dioïque*. (A) parties aériennes, (l) fleur femelle, (2) fleur mâle, (6) akène, (7) poils urticants. 32

Figure 15 : Pied femelle d'Ortie dioïque 33

Figure 16 : Cycle biologique de *Urtica dioica* L., comprenant les phases de floraison, de pollinisation et de dissémination du pollen 35

Figure 17 : *Sapindus mukorossi* 36

Figure 18 : Répartition géographique de *Sapindus mukorossi* 37

Figure 19 : Arbuste etfeuilles de *Sapindus mukorossi* (A. B)..... 38

Figure 20 : Fleurs de *Sapindus mukorossi* 39

Figure 21 : Aspects des fruits et des graines de *Sapindus mukorossi* 40

Figure 22 : L'échantillonnage de la plante *Urtica dioica* 44

Figure 23 : Échantillonnage de *Sapindus mukorossi.* 45

Figure 24 : Etapes d'extraction méthanolique 46

Figure 25 : Les différentes dilutions des extraits végétaux d'étude..... 47

Figure 26 : Dispositif expérimental du traitement 48

Figure 27 : Les œufs de la cochenille après l'application de traitement 60

Figure 28 : L'effet d'extrait phénolique d'U. dioica sur les femelles de cochenille 50

Figure 29 : Observation microscopique de l'état des cochenilles après quatre jours de traitement par différentes concentrations d'extrait d'Urtica dioica 51

Figure 30 : Évolution de la mortalité corrigée des cochenilles traitées par différentes doses d'extrait d'ortie 52

Figure 31 : Évolution de la mortalité corrigée des cochenilles traitées par différentes doses d'extrait de fruits de savonnier 53

Figure 32 : Évolution temporelle de la mortalité corrigée des cochenilles traitées par différentes doses de fruit de savonnier 55

Figure 33 : Observation microscopique de l'état des cochenilles après quatre jours de traitement par la solution synergique..... 57

Figure 34 : Évolution temporelle de la mortalité corrigée des cochenilles traitées par différentes concentrations de la solution synergique 58

Figure 35 : Courbe de régression pour la détermination de la DL 50 de L'extrait d'*U. dioica* 53

Figure 36 : Courbe linéaire des mortalités corrigées des cochenilles traitées par l'extrait de fruit de savonnier 56

Figure 37 : Courbe linéaire des mortalités corrigées des cochenilles traitées par l'extrait synergique de fruit de savonnier et d'ortie 59

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques physicochimiques de la figue de Barbarie algérienne ..... Erreur ! Signet non défini.

Tableau 2 : Composition biochimique de quelques variétés de la figue de Barbarie ..... Erreur ! Signet non défini.

Tableau 3 : Caractéristiques biochimiques de différentes parties de la figue de Barbarie ..... Erreur ! Signet non défini.

Tableau 4 : Les utilisations du figuier de Barbarie ..... Erreur ! Signet non défini.

Tableau 5 : Principaux champignons phytopathogènes du figuier de Barbarie **19**

Tableau 6 : Principaux ravageurs du figuier de Barbarie **21**

Liste des abréviations

CAM : ***Crassulacean Acid Metabolism***

Résumé

Le figuier de Barbarie (*Opuntia ficus-indica*) est menacé par la cochenille *Dactylopius opuntiae*, dont l'extension en Algérie rend nécessaire la recherche de méthodes de lutte complémentaires et durables. Cette étude évalue le potentiel bioinsecticide d'un extrait éthanolique d'ortie dioïque (*Urtica dioica* L.), d'un extrait aqueux de fruits de savonnier (*Sapindus mukorossi*) et de leur association, sur des femelles de *D. opuntiae*. Les végétaux ont été récoltés en février 2026 à la ferme expérimentale de l'Université de Mostaganem. L'extraction de l'ortie par macération a donné un rendement de 10,3 %. Quatre concentrations (100, 80, 60 et 40 %) de chaque préparation ont été pulvérisées sur des femelles déposées sur des fragments de cladodes (64 boîtes de Petri, cinq femelles par boîte), avec une seconde application au sixième jour. La mortalité a été suivie quotidiennement.

Les trois préparations ont entraîné une mortalité croissante, avec une mortalité totale observée entre le 9^{e} et le 12^{e} jour pour l'ortie, entre le 7^{e} et le 12^{e} jour pour le savonnier et entre le 6^{e} et le 7^{e} jour pour l'association. Les DL_{50} estimées sont de 0,32 % pour l'ortie, 0,93 % pour le savonnier et 0,58 % pour l'association. Toutefois, la mortalité des témoins a atteint 100 % en fin d'essai, ce qui impose de prudence dans l'interprétation, et un effet synergique n'a pas pu être démontré. Ces résultats constituent une première approche et justifient des essais complémentaires plus rigoureux.

Mots clés : Activité insecticide ; Bioinsecticide ; *Dactylopius opuntiae* ; Extraits végétaux ; *Opuntia ficus-indica* ; *Sapindus mukorossi* ; *Urtica dioica*.

Abstract

Prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) is threatened by the cochineal insect *Dactylopius opuntiae*, whose spread in Algeria calls for complementary and sustainable control methods. This study evaluates the bioinsecticidal potential of an ethanolic extract of stinging nettle (*Urtica dioica* L.), an aqueous extract of soapnut fruits (*Sapindus mukorossi*), and their combination, against *D. opuntiae* females. Plant material was collected in February 2026 at the experimental farm of the University of Mostaganem. Maceration of nettle gave an extraction yield of 10.3%. Four concentrations (100, 80, 60 and 40%) of each preparation were sprayed on females placed on cladode slices (64 Petri dishes, five females per dish), with a second application on day 6. Mortality was recorded daily.

All three preparations increased mortality. Total mortality was observed between days 9 and 12 for nettle, between days 7 and 12 for soapnut, and between days 6 and 7 for the combination. The estimated LD_{50} values were 0.32% for nettle, 0.93% for soapnut and 0.58% for the combination. However, control mortality reached 100% at the end of the trial, so the results must be interpreted cautiously, and a synergistic effect could not be demonstrated. These findings are a first approach and justify further, more rigorously controlled trials.

Keywords: Bioinsecticide; *Dactylopius opuntiae*; Insecticidal activity; *Opuntia ficus-indica*; Plant extracts; *Sapindus mukorossi*; *Urtica dioica*.

الملخص

يتعرّض التين الشوكي (*Opuntia ficus-indica*) لتهديد الحشرة القرمزية *Dactylopius opuntiae* التي يتزايد انتشارها في الجزائر، مما يستدعي البحث عن طرق مكافحة مكمّلة ومستدامة. تهدف هذه الدراسة إلى تقييم الفعالية المبيدة للحشرات لمستخلص إيثانولي من نبات القراص (*Urtica dioica* L.) ومستخلص مائي من ثمار الصابون الهندي (*Sapindus mukorossi*) ومزيجهما، ضد إناث *D. opuntiae*. جُمعت النباتات في فيفري 2026 من المزرعة التجريبية لجامعة مستغانم، وبلغ مردود استخلاص القراص بالنقع 10.3%. رُشّت أربعة تراكيز (100 و80 و60 و40%) من كل محلول على إناث وُضعت فوق شرائح من الأوراق الساقية (64 علبة بيتري، خمس إناث في كل علبة)، مع رشّة ثانية في اليوم السادس، وسُجّلت نسبة الموت يومياً.

أدّت المستخلصات الثلاثة إلى ارتفاع نسبة الموت، إذ لوحظ الموت الكلي بين اليوم التاسع والثاني عشر عند القراص، وبين اليوم السابع والثاني عشر عند الصابون الهندي، وبين اليوم السادس والسابع عند المزيج. وقُدّرت الجرعة المميتة DL_{50} بـ 0.32% للقراص و0.93% للصابون الهندي و0.58% للمزيج. غير أنّ نسبة الموت في الشواهد بلغت 100% في نهاية التجربة، مما يستوجب الحذر في تفسير النتائج، ولم يمكن إثبات وجود تأثير تآزري. تمثّل هذه النتائج مقاربة أولى تبرّر إجراء تجارب إضافية أكثر إحكاماً.

الكلمات المفتاحية: التين الشوكي (*Opuntia ficus-indica*) ؛ الحشرة القرمزية (*Dactylopius opuntiae*) ؛ الصابون الهندي (*Sapindus mukorossi*) ؛ القراص (*Urtica dioica*) ؛ مبيد حشري حيوي ؛ مستخلصات نباتية ؛ نشاط مبيد للحشرات.

Introduction générale

Le figuier de Barbarie "*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. " est une espèce appartenant à la famille des Cactaceae, présentant un intérêt agronomique, écologique et socio-économique important (Inglese *et al.,* 2017). Grâce à ses caractéristiques physiologiques et à sa capacité d'adaptation aux conditions arides et semi-arides, cette plante contribue à la valorisation des terres marginales et à la diversification des ressources agricoles (Inglese *et al*., 2017). Elle est également exploitée pour ses fruits, ses cladodes et ses différentes applications alimentaires et industrielles (Inglese *et al.,* 2017). Dans les régions caractérisées par une disponibilité limitée en eau, le figuier de Barbarie constitue ainsi une ressource végétale présentant un intérêt particulier pour le développement de systèmes agricoles adaptés aux contraintes climatiques (Inglese *et al.,* 2017).

Cependant, la production et la pérennité de cette espèce sont menacées par plusieurs facteurs phytosanitaires, parmi lesquels figure la cochenille *Dactylopius opuntiae* (Chávez-Moreno *et al*., 2011). Cet insecte phytophage se nourrit de la sève des cladodes et provoque, en cas d'infestation importante, un affaiblissement progressif des plantes, leur dessèchement et, dans les situations les plus sévères, leur mortalité (Vanegas-Rico *et al.,* 2010). La propagation de ce ravageur représente donc une contrainte majeure pour la préservation et l'exploitation des plantations de figuier de Barbarie (Chávez-Moreno *et al.,* 2011). En Algérie, son apparition et son extension ont notamment été signalées en 2021, dans la région de Tlemcen, où les infestations ont entraîné des dégâts importants sur les plantations d'*O. ficus-indica* (El Bouhissi *et al.,* 2021).

La gestion de *D. opuntiae* repose sur différentes méthodes de lutte, notamment les interventions mécaniques, l'utilisation de produits phytosanitaires et le recours aux agents de lutte biologique (Brito *et al.,* 2008 ; Vanegas-Rico *et al.,* 2010). Néanmoins, la recherche de méthodes complémentaires, efficaces et compatibles avec les exigences d'une agriculture plus durable constitue un enjeu important Dans ce contexte, les substances d'origine végétale suscitent un intérêt croissant en raison de la diversité de leurs composés bioactifs et de leurs propriétés biologiques potentielles. Les insecticides botaniques constituent notamment une voie de recherche pour la mise au point de solutions alternatives ou complémentaires aux produits conventionnels de protection des cultures (Isman, 2006).

Parmi les espèces végétales susceptibles de présenter un intérêt dans ce domaine figurent l'ortie dioïque (*Urtica dioica* L.) et le fruit du savonnier (*Sapindus mukorossi*). L'ortie est une plante connue pour sa richesse en différents composés naturels, tandis que le fruit de *S.*

mukorossi se distingue par sa teneur en saponines, des molécules présentant des propriétés tensioactives et diverses activités biologiques (Suhagia *et al*., 2011). Ces caractéristiques justifient l'intérêt porté à ces deux espèces dans l'étude de préparations végétales destinées à la gestion des organismes nuisibles (Isman, 2006 ; Suhagia *et al*., 2011). Toutefois, les propriétés générales de ces plantes ne permettent pas, à elles seules, de conclure à leur efficacité contre *D. opuntiae* ; celle-ci doit être évaluée expérimentalement dans des conditions définies.

L'association de plusieurs extraits végétaux constitue également une approche qui mérite d'être étudiée. En effet, l'utilisation combinée de substances d'origines différentes pourrait modifier l'intensité ou la rapidité de l'effet biologique observé.

C'est dans cette perspective que s'inscrit le présent travail, dont l'objectif principal est d'évaluer le potentiel bioinsecticide des préparations à base d'*Urtica dioica* et de *Sapindus mukorossi*, utilisées séparément et en association, contre les femelles de *Dactylopius opuntiae*. L'étude porte sur différentes concentrations des préparations et sur l'évolution de la mortalité au cours de la période d'observation. Elle vise également à comparer la rapidité de l'action observée selon les traitements, tout en tenant compte de la mortalité enregistrée dans les lots témoins, élément essentiel à l'interprétation des résultats. La démarche expérimentale adoptée doit ainsi permettre de déterminer si les préparations étudiées présentent un potentiel intéressant pour la maîtrise de ce ravageur et d'identifier les limites éventuelles de leur efficacité dans les conditions de l'essai. Les résultats obtenus pourront contribuer à orienter de futurs travaux consacrés à l'évaluation des extraits végétaux comme outils complémentaires de protection du figuier de Barbarie.

Afin de répondre à ces objectifs, le présent mémoire est organisé en trois chapitres. Le premier chapitre est consacré aux généralités sur le figuier de Barbarie (*O. ficus-indica*), notamment ses caractéristiques et son importance. Le deuxième chapitre présente la cochenille *D. opuntiae*, sa biologie, les dégâts qu'elle occasionne et les principales méthodes de lutte disponibles. Le troisième chapitre porte sur les caractéristiques de l'ortie dioïque (*U. dioica* L.) et du fruit du savonnier (*S. mukorossi*), en mettant l'accent sur leurs propriétés susceptibles de présenter un intérêt biologique. Enfin, la partie expérimentale expose le matériel et méthodes utilisés, les résultats obtenus ainsi que leur discussion critique.

Chapitre I : Généralités sur Opuntia ficus indica

I.1 Origine et diffusion

Le figuier de Barbarie (*Opuntia ficus-indica*) est une plante xérophyte originaire du Mexique, dont les caractéristiques physiologiques et morphologiques lui confèrent une remarquable adaptation aux milieux arides et semi-arides (Fig. 01) (Reynolds *et al*., 2003). Sa capacité à résister aux conditions climatiques contraignantes, en particulier au déficit hydrique, en fait une ressource végétale d'une grande importance écologique et économique (Hernández-Urbiola *et al*., 2011).



Figure 1: *Opuntia ficus indica* (Roster, P. (2014))

Cette espèce présente également un intérêt considérable sur le plan agricole et alimentaire. Ses fruits sont largement consommés par l'être humain, tandis que ses cladodes, riches en eau et en éléments nutritifs, constituent une source de fourrage appréciable pour le bétail, notamment dans les régions caractérisées par une faible disponibilité des ressources hydriques (Arba, 2009).

Le genre *Opuntia*, originaire du Mexique, occupe une place importante dans le patrimoine culturel de ce pays, où il est notamment représenté sur l'emblème national (Orwa *et al*., 2009). Au cours des siècles, sa culture s'est progressivement étendue à différentes régions du monde, notamment à la Sicile, au Chili, au Brésil, à la Turquie, à la Corée, à l'Argentine et à plusieurs

pays d'Afrique du Nord, témoignant de sa capacité à s'adapter à des environnements variés (Barbera *et al*., 1992 ; Nerd et Mizrahi, 1994 ; Felker *et al*., 2005 ; Kabas *et al*., 2006 ; Saleem *et al*., 2006 ; Snyman, 2006).

L'introduction du cactus *Opuntia* en Europe s'est effectuée initialement par l'Espagne, avant sa diffusion, dès le XVI^{e} siècle, vers les côtes septentrionales et méridionales du continent africain. Sa propagation s'est ensuite poursuivie dans l'ensemble du bassin méditerranéen, où il s'est progressivement acclimaté et intégré aux paysages locaux, devenant ainsi une composante caractéristique de la végétation méditerranéenne (Le Houerou, 1996 ; Erre *et al*., 2009). Sa présence est particulièrement marquée dans la partie occidentale de cette région, notamment dans le sud de l'Espagne, au Portugal et dans les pays du Maghreb, à savoir l'Algérie, le Maroc et la Tunisie (Bensalem *et al*., 2002 ; Arba, 2009). À l'échelle de la région WANA (Asie occidentale et Afrique du Nord), les superficies consacrées à cette culture sont estimées à environ 900 000 hectares, soulignant son importance dans les systèmes agricoles des zones sèches (Nefzaoui et Bensalem, 1998).

Dans certains pays, tels que l'Italie, l'Espagne et le Mexique, la culture du figuier de Barbarie a connu un développement important, favorisé par la modernisation des pratiques agricoles et la mise en œuvre de programmes de recherche portant sur ses différentes valorisations, notamment fruitières, fourragères et industrielles (Mulas et Mulas, 2004). À l'inverse, dans d'autres régions du monde, notamment en Australie et en Afrique du Sud, certaines variétés d'Opuntia, en particulier les formes dépourvues de graines, sont considérées comme des espèces envahissantes. Leur forte capacité de propagation peut entraîner une colonisation importante des milieux naturels et perturber les écosystèmes locaux (Dean et Milton, 2000 ; Orwa *et al*., 2009) (Fig. 02).

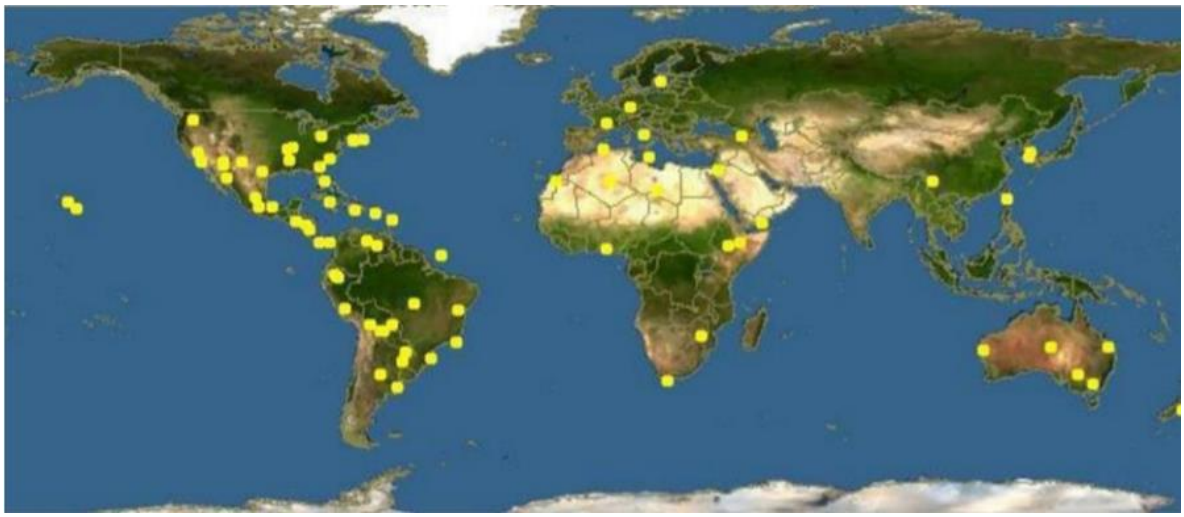


Figure 2 : Répartition mondiale *d'Opuntia ficus-indica* (GBIF, 2020)

I.2 Répartition d'*Opuntia ficus-indica* en Algérie

En Algérie, plusieurs espèces du genre *Opuntia* sont présentes, parmi lesquelles *Opuntia cylindrica*, *Opuntia mieckleyi*, *Opuntia schumanni*, *Opuntia maxima*, *Opuntia vulgaris*, *Opuntia megacantha* et *Opuntia ficus-indica* (Arba *et al*., 2000 ; Inglese *et al*., 2018). Le figuier de Barbarie est largement répandu dans le paysage rural algérien, où il est cultivé sous forme de plantations plus ou moins régulières. Sa culture couvre une superficie estimée à plus de 50 000 hectares, dont près de 60 % est localisée au nord de la wilaya de Souk-Ahras (Inglese *et al*., 2018).

L'espèce est présente dans de nombreuses régions du pays, notamment sur les hauteurs de Chréa (wilaya de Blida), ainsi que dans les wilayas de Boumerdès, Tipaza, Chlef, Tissemsilt, Sidi Bel Abbès, Oran, Tlemcen, Aïn Témouchent, Mascara, Relizane, Béjaïa, Tébessa, Mostaganem, Batna, Khenchela et Constantine. Les meilleures productions de figues de Barbarie sont généralement obtenues dans les zones montagneuses, où les conditions climatiques sont particulièrement favorables au développement de cette culture (Benattia, 2017).

I.3 Classification du figuier de barbarie

Le figuier de Barbarie est désigné sous différentes appellations selon les langues et les régions (Oued *et al.,* 1990 ; Felice, 2004) :

Nom scientifique : *Opuntia ficus-indica*.

Noms berbères : El Hendi, Sabara, Karmous Nsara ;

Noms français : Figuier de Barbarie, Nopal, Figuier d'Inde, Cactus-raquette, Oponce, Figue de chrétien ;

Nom anglais : *Prickly pear.*

Selon Wallace et Gileson (1997), le figuier de barbarie est classé comme suit :

Règne : Plantae ;

Sous règne : Tracheobionta ;

Embranchement : Phanérogames ;

Sous Embranchement : Magnoliophyta ;

Classe : Magnoliopsida ;

Sous classe : Caryophyllidae ;

Ordre : Opuntiales ;

Famille : Cactaceae ;

Sous-famille : Opuntioideae ;

Tribu : Opuntieae *;*

Genre : *Opuntia* ;

Sous-genre : *Platyopuntia* ;

Espèce : *Opuntia ficus indica* (L.).

I.4 Biologie du figuier de Barbarie

Le figuier de Barbarie (*Opuntia ficus-indica*) est une espèce arborescente pérenne dont la hauteur atteint généralement 3 à 5 m (Fig. 3a). Sa structure repose sur un tronc épais et lignifié qui porte des tiges aplaties, les cladodes ou raquettes (Fig. 3b), de forme elliptique à ovoïde et d'un vert mat. Mesurant 30 à 50 cm de long, 15 à 30 cm de large et 1,5 à 3 cm d'épaisseur, ces organes assurent la photosynthèse et servent de réservoirs d'eau. Une épaisse cuticule cireuse les recouvre, limitant la transpiration et protégeant la plante des agressions du milieu (Nobel, 1994 ; Barbera *et al.,* 1995).

Les feuilles, réduites, coniques et très éphémères, ne se forment que sur les jeunes cladodes et tombent rapidement. À leur aisselle se situent les aréoles (Fig. 3c), structures propres aux Cactacées correspondant à des bourgeons axillaires modifiés. Elles peuvent donner naissance à des épines, des glochides, de nouvelles raquettes, des racines adventives ou des

fleurs. Les épines, blanchâtres et sclérifiées, ont en général 1 à 2 cm de long. Il existe des variétés épineuses et des variétés dites inermes, mais celles-ci portent aussi des glochides : de fines épines brunâtres à minuscules crochets, qui adhèrent facilement à la peau (Barbera *et al.,* 1995 ; Nobel, 2002).

La floraison a lieu surtout sur les cladodes d'un an, au niveau des aréoles de la partie supérieure ou de la face la mieux exposée au soleil (Fig. 3d). Les fleurs sont hermaphrodites, à ovaire infère uniloculaire, avec un pistil à stigmate lobé et de nombreuses étamines jaune-orangé. De couleur jaune, elles virent au rougeâtre à l'approche de la sénescence. Chaque aréole ne porte normalement qu'une fleur, mais un même cladode peut en produire jusqu'à une trentaine (Reyes-Agüero *et al.,* 2006 ; Inglese *et al.,* 2002).

Le fruit (Fig. 3e) est une baie charnue, ovoïde ou piriforme, uniloculaire et polysperme, renfermant de nombreuses graines. Il porte des aréoles capables de former de nouvelles fleurs ou des racines. À maturité, l'épiderme est vert, jaune, orange, rouge ou pourpre, et la pulpe, abondante et juteuse, va du jaune-orangé au rouge foncé. Le poids du fruit se situe habituellement entre 67 et 216 g. La couleur de la pulpe dépend de pigments naturels, les bétaxanthines pour les tons jaunes et les bétacyanines pour les tons rouges (Stintzing *et al*., 2001 ; Stintzing et Carle, 2005). La forme varie selon la variété et la période de nouaison : les fruits précoces sont plutôt arrondis, les plus tardifs plus allongés (Inglese *et al*., 2002 ; Reyes-Agüero *et al*., 2006).

Sur le plan physiologique, le figuier de Barbarie possède plusieurs adaptations qui lui permettent de survivre en milieu aride. Ses feuilles sont éphémères, tandis que ses cladodes charnus assurent à la fois la photosynthèse et la mise en réserve de l'eau. L'épiderme épais et cireux, associé à des stomates profondément enfoncés, réduit fortement les pertes par transpiration. Pendant les périodes de forte chaleur, les stomates restent fermés durant une grande partie de la journée, ce qui permet à la plante de tolérer une forte déshydratation sans dommage irréversible (Nobel, 1994 ; Le Houérou, 1996).

Cette espèce possède un métabolisme acide crassulacéen (CAM), stratégie particulièrement adaptée aux milieux secs (Nobel, 1996). À la différence des plantes en C3, elle ouvre ses stomates la nuit pour absorber le dioxyde de carbone (CO_2), fixé sous forme d'acides organiques, surtout le malate, puis stocké dans les vacuoles. Le jour, les stomates fermés limitent les pertes d'eau, et la décarboxylation du malate libère le CO_2 qui alimente le cycle de

Calvin. Ce fonctionnement assure une grande efficacité d'utilisation de l'eau et explique la forte résistance de l'espèce à la sécheresse (De Kock, 1983 ; Nobel, 1996 ; Moßhammer *et al*., 2006 ; Nobel, 2002).



Figure 1 : Le figuier de Barbarie : a) la plante : variété inerme, b) variété asperme, c) les cladodes, d) les aréoles, e) les fleurs, f) le fruit (Neffar, 2008)

I.4.1 Exigences écologiques

Le figuier de Barbarie (*Opuntia ficus-indica*) est une espèce xérophyte qui prospère dans les zones arides et semi-arides (Russell et Felker, 1987 ; Mizrahi *et al*., 1997). Sa forte plasticité génétique lui permet de s'adapter à des conditions écologiques très diverses, ce qui explique sa large distribution géographique (Felker et Inglese, 2003 ; Arba *et al*., 2017).

L'espèce colonise aussi bien les plaines que les zones côtières et les plateaux (Lahsasni et al., 2004). Elle supporte des températures extrêmes, supérieures à 50 °C, et même jusqu'à 58 °C à Aziziya (Libye). Elle reste en revanche vulnérable aux fortes gelées, bien qu'elle puisse résister à environ -10 °C pendant quelques heures. Cette tolérance au froid dépend surtout de la turgescence du tissu chlorenchymateux des cladodes (Nobel, 1982 ; Nerd *et al*., 1991).

Concernant le sol, le figuier de Barbarie s'adapte à des substrats acides, calcaires ou pauvres en matière organique (Nobel, 1988 ; Nefzaoui et Ben Salem, 2001). Il donne toutefois de meilleurs résultats sur des sols sableux ou caillouteux, bien drainés et perméables, qui stimulent sa croissance et limitent les risques d'asphyxie racinaire dus à l'excès d'humidité (Pimienta-Barrios, 1990 ; Skiredj *et al*., 1998).

I.4.2 Description morphologique

Le figuier de Barbarie (*Opuntia ficus-indica*) est une espèce arborescente qui atteint en général 3 à 4 m de hauteur (Fig. 4). Ses tiges, aplaties, charnues et ovales, sont appelées cladodes ou raquettes. Elles mesurent habituellement 30 à 40 cm de long, 15 à 25 cm de large et 1,5 à 3 cm d'épaisseur, et s'articulent les unes aux autres pour former les ramifications de la plante (Bravo-Hollis, 1978 ; Sudzuki Hills, 1995). De couleur verte, elles remplacent les feuilles dans la photosynthèse et constituent aussi un réservoir d'eau. Leur surface est protégée par une épaisse cuticule cireuse qui limite la transpiration et défend la plante contre les conditions défavorables du milieu (Barthlott et Hunt, 1993 ; Anderson, 2001).

Les cladodes sont couverts d'aréoles, d'où émergent de petites feuilles fragiles, éphémères et vite caduques. Ces aréoles portent également des épines et des glochides, fines aiguilles à minuscules crochets qui s'accrochent facilement. Avec l'âge, les cladodes de la base se lignifient et forment progressivement un tronc robuste (Scheinvar, 1995 ; Kiesling, 1999).

La floraison est abondante. Les fleurs apparaissent sur la partie supérieure des cladodes et mesurent de 4 à 10 cm de diamètre. Leur couleur varie du jaune à l'orange ou au rouge. Elles sont hermaphrodites et donnent des fruits charnus et comestibles (Nerd et Mizrahi, 1997 ; Anderson, 2001).

Le fruit, ou figue de Barbarie, est une baie ovoïde à peau verte jaunâtre, couverte de petites aréoles à glochides. Sa pulpe juteuse va du jaune clair au rouge violacé selon la variété (El Kossori et al., 1998 ; Kuti, 2004). En climat tempéré, la floraison a lieu surtout entre avril et mai et les fruits mûrissent de fin juillet à septembre. Dans les régions chaudes et arides, deux récoltes par an sont possibles (Nerd et Mizrahi, 1997 ; Piga, 2004).

Les graines sont riches en vitamines, en minéraux et en composés bioactifs. Elles fournissent aussi une huile végétale précieuse, appréciée pour ses propriétés nutritionnelles, cosmétiques et thérapeutiques (Sawaya et Khan, 1982 ; Ramadan et Mörsel, 2003 ; Ennouri et al., 2005 ; Feugang *et al*., 2006).

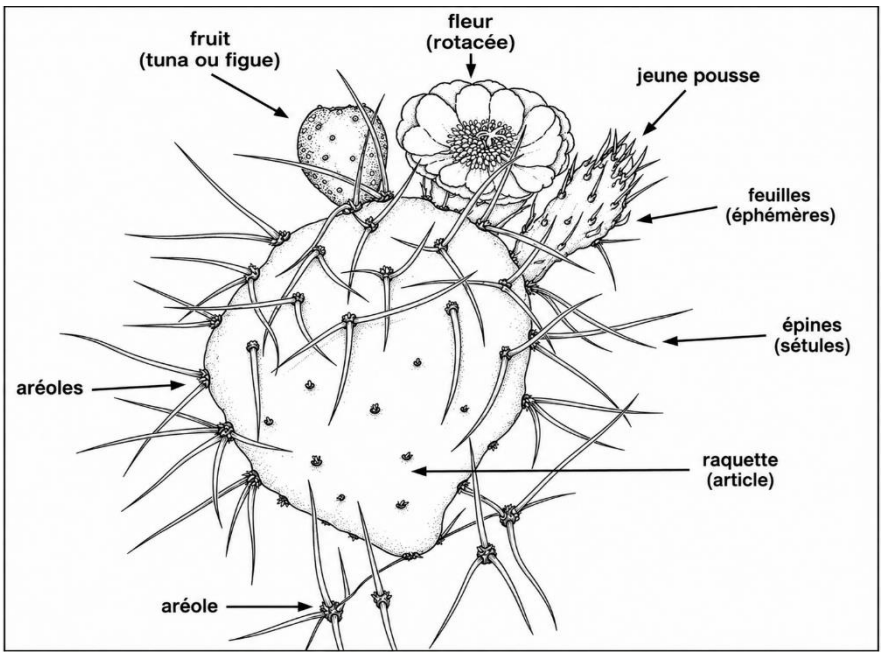


Figure 2 : Aspect général d'*Opuntia ficus indica* (Schweizer, 1997).

I.4.3 Physiologie

Le figuier de Barbarie (*Opuntia ficus-indica*) possède un métabolisme acide crassulacéen (CAM, *Crassulacean Acid Metabolism*), une adaptation physiologique qui lui permet de vivre en milieu aride en utilisant l'eau avec une grande efficacité (Nobel, 1988 ; Nobel et Bobich, 2002). À la différence des plantes en C3 ou en C4, il absorbe l'essentiel de son dioxyde de carbone (CO_2) la nuit, lorsque les températures sont plus basses et l'humidité relative plus élevée. L'ouverture nocturne des stomates réduit ainsi les pertes d'eau par évapotranspiration (Osmond, 1978 ; Cushman et Bohnert, 1999).

Le CO_2 absorbé est fixé par la phosphoénolpyruvate carboxylase (PEP carboxylase), qui utilise le phosphoénolpyruvate (PEP) provenant de la dégradation de l'amidon et du saccharose accumulés pendant la journée. Cette réaction produit de l'oxaloacétate, rapidement converti en malate, lequel est stocké dans les vacuoles sous forme d'acide malique. C'est cette accumulation d'acide qui a donné son nom au métabolisme acide crassulacéen (Ting, 1985 ; Lüttge, 2004).

Durant la journée, les stomates demeurent fermés pour limiter la perte d'eau. L'acide malique stocké la nuit est alors décarboxylé et libère du CO_2 à l'intérieur des tissus chlorophylliens. Ce CO_2 est réintégré dans le cycle de Calvin grâce à l'énergie lumineuse, ce qui permet la synthèse des glucides et achève le processus photosynthétique (Winter et Smith, 1996 ; Borland et al., 2009) (Fig. 5).

Cette stratégie métabolique confère au figuier de Barbarie une excellente efficacité dans l'utilisation de l'eau, ce qui explique sa remarquable adaptation aux régions caractérisées par un climat chaud et sec.

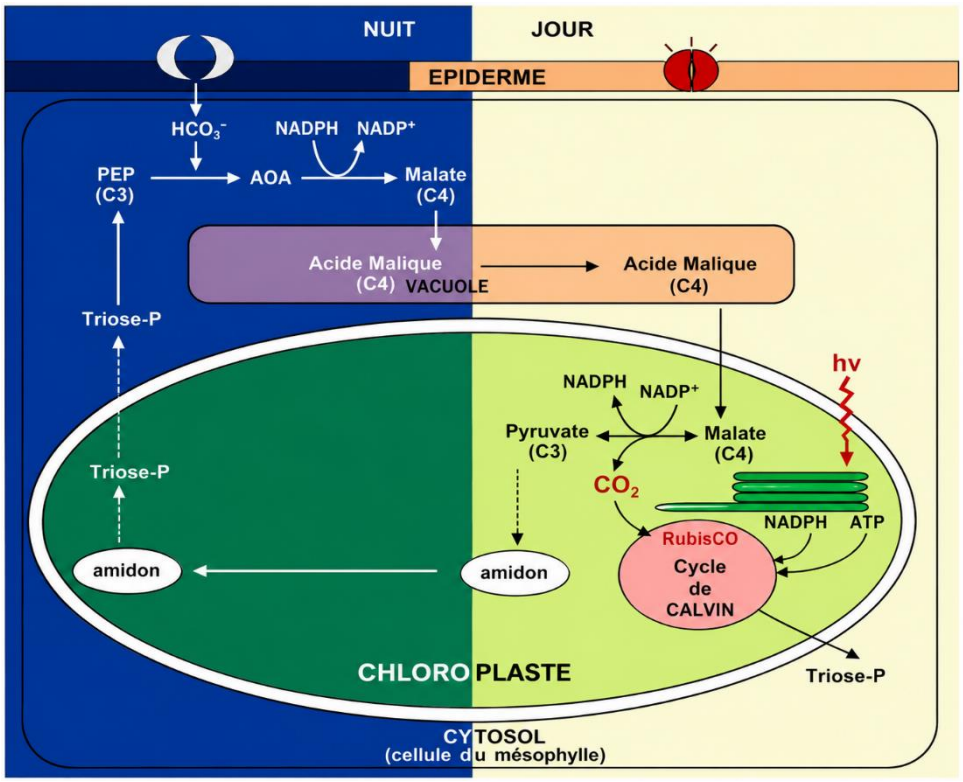


Figure 3 : Photosynthèse de type CAM (Goldstein *et al.*, 1991)

I.4.4 Reproduction du figuier de Barbarie

Le figuier de Barbarie se multiplie par deux voies : la voie asexuée (végétative) et la voie sexuée (Mondragón-Jacobo et Pérez-González, 2001 ; Barbera *et al*., 1995). La multiplication végétative est de loin la plus répandue. Dans la nature, elle a lieu lorsqu'un cladode (raquette) se détache de la plante mère et touche le sol : les aréoles émettent alors des racines adventives, ce qui donne naissance à un nouveau plant (Nobel, 2002 ; Reyes-Agüero *et al*., 2005). En culture, on recourt surtout au bouturage de cladodes âgés d'un an ou plus (Inglese *et al*., 2002 ; Mondragón-Jacobo et Pérez-González, 2001). Le greffage reste réservé à des cas particuliers, comme la multiplication de variétés précises ou l'amélioration de certains caractères (Zimmerman et Granata, 2002 ; Mondragón-Jacobo et Pérez-González, 2001).

La reproduction sexuée repose sur la germination des graines contenues dans les fruits. Elle est cependant lente : la germination des graines est difficile et les jeunes plants mettent plusieurs années à atteindre leur plein développement (Reyes-Agüero *et al*., 2005 ; Orozco-Segovia *et al*., 2009). Le semis est donc surtout employé en amélioration génétique et en

sélection variétale, alors que le bouturage reste la méthode privilégiée pour sa simplicité, sa rapidité et son efficacité (Mondragón-Jacobo et Pérez-González, 2001 ; Felker et Inglese, 2003) (Fig. 6).

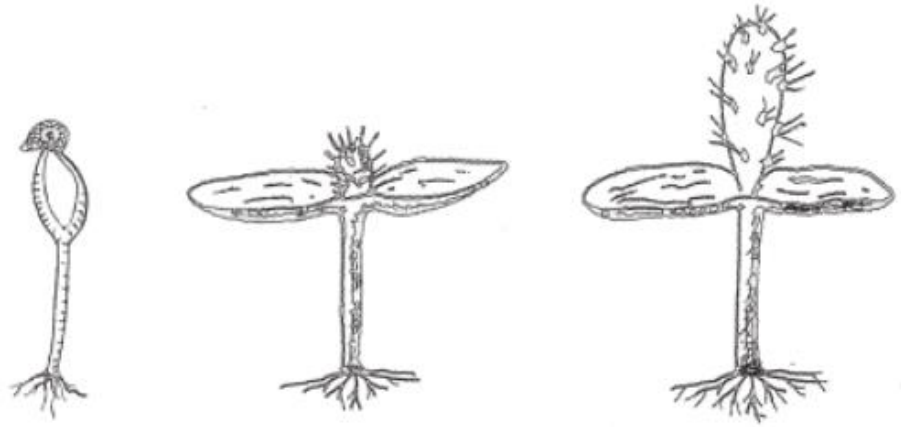


Figure 4 : La germination d'une graine d'*Opuntia* (Schweizer 1997)

I.5 Propriétés nutritionnelles et thérapeutiques de la figue de Barbarie

La figue de Barbarie est un fruit à haute valeur nutritionnelle, caractérisé par une forte teneur en eau, des sucres modérés, des fibres alimentaires, des vitamines C et K, ainsi que des minéraux essentiels tels que le potassium et le magnésium. Sa richesse en composés antioxydants contribue également à ses propriétés bénéfiques pour la santé (Idir *et al*., 2018). Par ailleurs, le figuier de Barbarie est reconnu pour ses propriétés thérapeutiques et son utilisation en médecine traditionnelle, notamment dans le traitement des troubles gastro-intestinaux et des affections cutanées. Ses composés bioactifs pourraient également participer à la régulation de la glycémie, au contrôle du poids et à la prévention de certaines maladies chroniques (Inglese *et al*., 2018).

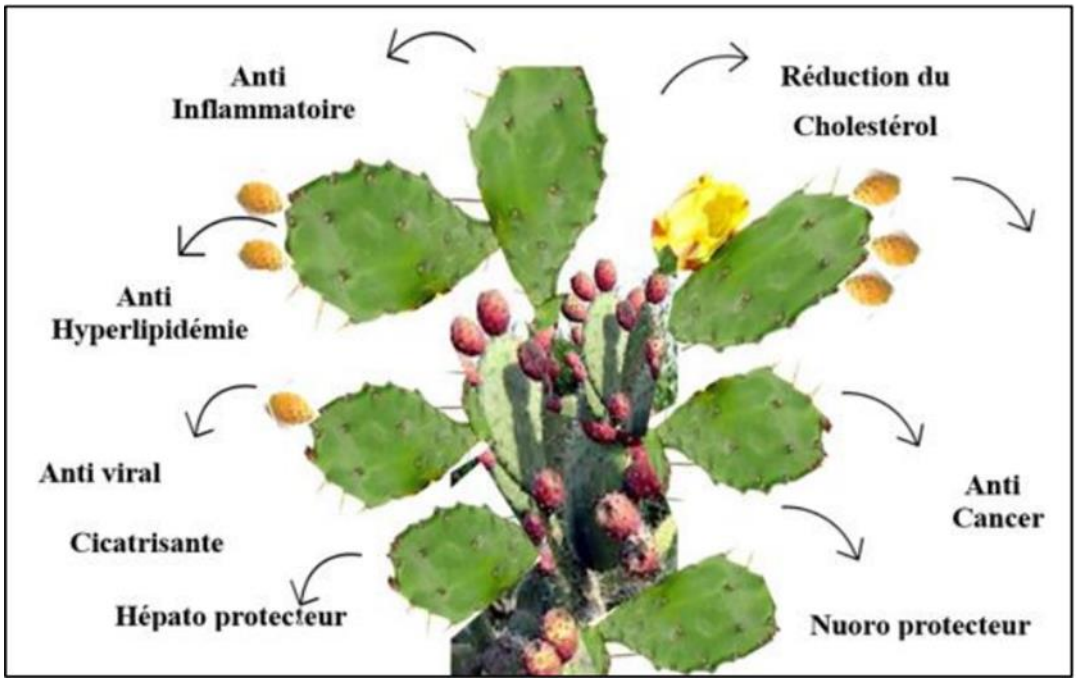


Figure 5 : Intérêt nutritionnel et thérapeutique de la figue de barbarie (Inglese et *al.*, 2018)

I.5.1 Utilisations de la figue de Barbarie

Grâce à sa richesse nutritionnelle et à ses nombreuses propriétés biologiques, le figuier de Barbarie possède un large éventail d'applications dans plusieurs domaines. Il est valorisé dans les secteurs alimentaire, énergétique, agricole, médical et industriel, ce qui en fait une ressource végétale d'un grand intérêt économique. Les principales utilisations de cette espèce sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Les utilisations du figuier de Barbarie (Inglese et al., 1995)

Aires commerciales	Usages spécifiques
Production alimentaire	Fruits frais, nopalitos (jeunes cladodes), jus de fruits, extraction d'huile des graines, miel de tuna et marmelades.
Production d'énergie	Production d'alcool et de biomasse fraîche.
Alimentation du bétail	Fourrage et valorisation des déchets de fruits.
Usage médical	Utilisation des fleurs comme diurétiques, des cladodes dans le traitement du diabète et exploitation des mucilages à des fins thérapeutiques.
Usage agronomique	Fixation des sols, paillage (mulching), source complémentaire d'eau pour le bétail, clôtures naturelles et brise-vent.
Colorants naturels	Extraction de bétalaïnes à partir des fruits et d'acide carminique.

I.6 Problèmes phytosanitaires du figuier de Barbarie

Le figuier de Barbarie peut être attaqué par divers agents pathogènes : virus, bactéries, champignons et certaines levures (Zimmermann et Granata, 2002 ; Brunt et al., 1996). Ces agents perturbent la croissance de la plante et dégradent la qualité comme le rendement des fruits. Faute de maîtrise, ils peuvent causer des pertes économiques importantes (Mondragón-Jacobo et Pérez-González, 2001 ; Granata et Sidoti, 2002).

I.6.1 Maladies phytopathologiques

I.6.1.1 Épaississement des cladodes

L'épaississement des cladodes est une maladie virale caractérisée par un ralentissement de la croissance, une hypertrophie des gaines et une décoloration progressive des cladodes. Les plantes atteintes présentent une faible nouaison et produisent un nombre réduit de fruits (Granata et Sidoti, 2002).

I.6.1.2 Maladies causées par les bactéries

❖ ***Erwinia carotovora***

Erwinia carotovora est une bactérie responsable de la pourriture molle des cladodes, qui prend un aspect noirâtre au stade avancé (Fernandes *et al*., 1995 ; Zimmermann et Granata, 2002). Les premiers symptômes apparaissent au printemps sous forme de taches humides, d'aspect huileux, qui gagnent rapidement les tissus internes et provoquent leur décomposition (Fucikovsky et Mendoza, 1982 ; Bruton, 1997). La maladie a été signalée en Italie, au Chili, au Mexique et en Argentine (Mondragón-Jacobo et Pérez-González, 2001 ; Granata et Sidoti, 2002). Aucun traitement réellement efficace n'étant disponible, la lutte consiste surtout à éliminer et détruire les cladodes atteints pour freiner la propagation de la bactérie (Zimmermann et Granata, 2002 ; Varvaro *et al*., 1993).

❖ ***Agrobacterium tumefaciens***

Agrobacterium tumefaciens est l'agent responsable de la galle du collet. Cette maladie se manifeste par la formation de tumeurs, parfois volumineuses, au niveau de la base de la tige. Aucun traitement curatif n'étant disponible, les mesures préventives consistent à éviter la plantation dans des sols contaminés et à utiliser du matériel végétal sain (Hernández Gutiérrez, 1993 ; Granata et Sidoti, 2002).

I.6.3 Maladies causées par les levures

❖ ***Candida boidinii***

Candida boidinii est une levure qui provoque une pourriture molle des cladodes, souvent associée à une infection bactérienne secondaire (Granata et Sidoti, 2002 ; Zimmermann et Granata, 2002). Les premiers symptômes se manifestent par des zones noires sur les cladodes et les fruits, puis les tissus se dégradent progressivement jusqu'à leur destruction complète (Zimmermann et Granata, 2002 ; Mondragón-Jacobo et Pérez-González, 2001). La lutte repose surtout sur l'élimination des parties contaminées et sur l'application de bouillie bordelaise à 1 % après toute blessure susceptible de favoriser l'infection (Nobel et Nobel, 2002 ; Granata et Sidoti, 2002).

I.6.4 Maladies causées par les champignons

Les maladies fongiques comptent parmi les principaux facteurs qui limitent la production du figuier de Barbarie. Elles touchent les cladodes, les fruits, les tiges et les racines, et réduisent

à la fois la qualité et le rendement des cultures (Zimmermann et Granata, 2002 ; Mondragón-Jacobo et Pérez-González, 2001). Les principaux champignons phytopathogènes, leurs symptômes, leur distribution géographique et les méthodes de lutte sont présentés dans le tableau 5 (Granata et Sidoti, 2002).

Tableau 2 : Principaux champignons phytopathogènes du figuier de Barbarie (Inglese *et al.*, 2018)

Champignon	Principaux symptômes	Gestion de la maladie
Pseudocercospora opuntiae	Décoloration de la cuticule, brunissement et effondrement des tissus	Élimination des cladodes infectés et traitement fongicide
Lasiodiplodia theobromae	Pourriture des cladodes et des fruits	Destruction des parties atteintes et utilisation de fongicides
***Alternaria* spp.**	Taches chlorotiques autour des épines et des blessures	Traitements fongicides à base de cuivre ou de mancozèbe
Armillaria mellea	Pourriture des racines et des tiges	Éviter les sols contaminés
Sclerotinia sclerotiorum	Pourriture blanche et sclérotes noirs	Retrait et destruction des cladodes infectés
Aecidium opuntiae	Pustules jaune-orangé sur les cladodes et les fruits	Élimination des organes contaminés
Scytalidium lignicola	Pourriture sèche des cladodes	Destruction des tissus infectés
Phytophthora nicotianae	Pourriture du collet et exsudation gommeuse	Amélioration du drainage des sols
Pythium aphanidermatum	Lésions molles à la base des cladodes	Réduction de l'excès d'eau et bon drainage
Fusarium oxysporum* f. sp. *opuntiarum	Pourriture racinaire	Sol bien drainé et limitation de la compaction
Botrytis cinerea	Pourriture des fruits	Prévenir les blessures lors de la récolte
***Penicillium* spp.**	Pourriture des fruits après récolte	Bonnes pratiques d'hygiène et de stockage

Macrophomina phaseolina	Pourriture molle des fruits	Hygiène lors de la récolte et de l'emballage

I.6.5 Dégâts causées par les ravageurs

Le figuier de Barbarie est également attaqué par de nombreux insectes ravageurs. Plus de 160 espèces ont été recensées dans le monde. Ces ravageurs s'attaquent principalement aux cladodes, aux fruits, aux tiges ou aux graines, provoquant des pertes importantes de rendement et de qualité. Les principaux ravageurs sont présentés dans le tableau 3 (Inglese *et al.*, 2018)

Tableau 3 : Principaux ravageurs du figuier de Barbarie (Inglese *et al.*, 2018)

Ravageur	Organe attaqué	Principaux dégâts
Cactoblastis cactorum	Cladodes	Consommation des tissus internes
Olycella nephelepasa	Cladodes	Attaque des jeunes plantations
Megastes cyclades	Cladodes	Destruction des branches principales
Metapleura potosi	Cladodes et fruits	Pourriture et chute des cladodes
Metamasius spinolae	Tige	Destruction de la base de la plante
***Gerstaeckeria* spp.**	Tige et cladodes	Ponte des œufs dans les cladodes
Cylindrocopturus biradiatus	Cladodes	Développement des larves dans les cladodes
Moneilema variolis	Tige et cladodes	Affaiblissement et effondrement des plantes
Chelinidea tabulata	Fruits	Dégâts modérés sur les fruits
Narnia femorata	Fruits	Piqûres et dépréciation des fruits
Hesperolabops nigriceps	Cladodes	Jaunissement et déformation des cladodes
Asphondylia opuntiae	Graines	Réduction du développement des graines
Lonchaea alexanderi	Cladodes	Dégâts localisés

Diaspis echinocacti	Cladodes et fruits	Affaiblissement général des plantes
Neohydatothrips opuntiae	Cladodes et fruits	Lésions superficielles des tissus

Parmi ces ravageurs, la cochenille *Dactylopius opuntiae* constitue l'une des espèces les plus redoutables. Elle provoque d'importants dégâts sur les plantations de figuier de Barbarie dans plusieurs pays, y compris en Algérie, en se nourrissant de la sève des cladodes, ce qui entraîne leur dessèchement progressif et peut conduire à la mort de la plante. La figure 8 illustre les principaux symptômes et les dégâts causés par *Dactylopius opuntiae* sur les cladodes du figuier de Barbarie (Inglese *et al.*, 2018).



Figure 6 : Symptômes d'une infestation par *Dactylopius opuntiae* sur les cladodes du figuier de Barbarie (Originale, 2026)

Chapitre II : La cochenille Dactylopius opuntiae

II. La cochenille du cactus (*Dactylopius opuntiae*)

La cochenille du cactus, *Dactylopius opuntiae* (Homoptera : Dactylopiidae), compte parmi les principaux ravageurs du figuier de Barbarie dans le monde et occasionne de lourdes pertes économiques dans les plantations (Zimmermann et Granata, 2002 ; Mann, 1969). Au Brésil, elle a ainsi colonisé près de 100 000 hectares de cactus cultivés pour le fourrage, avec une baisse de productivité pouvant atteindre 80 % (Lobos *et al*., 2013).

Les cochenilles forment des colonies à la surface des cladodes (Fig. 09), le plus souvent à la base des épines, où l'on observe simultanément plusieurs stades de développement (De Lotto, 1974 ; Zimmermann et Granata, 2002). Ce sont les femelles et les jeunes stades qui causent les dégâts, en prélevant la sève des cladodes et des fruits. Cette alimentation provoque des taches jaunâtres, puis le dessèchement et la chute des cladodes. En cas de forte infestation, les jeunes pousses sont aussi touchées et la plante peut dépérir peu à peu, jusqu'à la mort du tronc (Inglese, 2018 ; Mondragón-Jacobo et Pérez-González, 2001).



Figure 7 : Cladode d'*O.ficus-indica D. opuntiae* (Suàrez et Oromi, 2018)

II.1 Biologie et cycle de vie de *Dactylopius opuntiae*

Dactylopius opuntiae appartient à la famille des Dactylopiidae, qui regroupe une dizaine d'espèces, dont *D. coccus*, *D. tomentosus*, *D. ceylonicus* et *D. opuntiae* (De Lotto, 1974 ; Portillo et Vigueras, 2006). Certaines espèces de cette famille sont exploitées pour produire l'acide carminique, un colorant naturel très stable et très pigmentant, employé dans les

industries alimentaire, pharmaceutique, cosmétique et textile (Eisner et al., 1980 ; Vigueras et Portillo, 2016).

D. opuntiae se développe surtout dans les régions arides et semi-arides, dont le climat favorise sa survie. Les basses températures et les pluies ralentissent en revanche son développement et réduisent sa survie (Mann, 1969 ; Inglese *et al*., 2017).

Les femelles, de forme ovale et longues de 4 à 6 mm, vivent fixées sur les cladodes. Un revêtement cireux blanchâtre protège leur corps des conditions du milieu et diminue l'efficacité des traitements chimiques (Flores *et al*., 2013 ; Zimmermann et Granata, 2002). Les mâles, plus petits, sont ailés et mobiles, mais vivent peu de temps (Dapson, 2007 ; De Lotto, 1974).

Le cycle biologique dure en général 40 à 60 jours, ce qui permet quatre générations ou plus par an selon le climat. Chaque femelle pond 150 à 160 œufs, d'où une multiplication rapide des populations (Badii et Flores, 2001 ; Torres et Giorgi, 2018). Le développement comprend trois grands stades : l'œuf, la nymphe et l'adulte (Fig. 10).

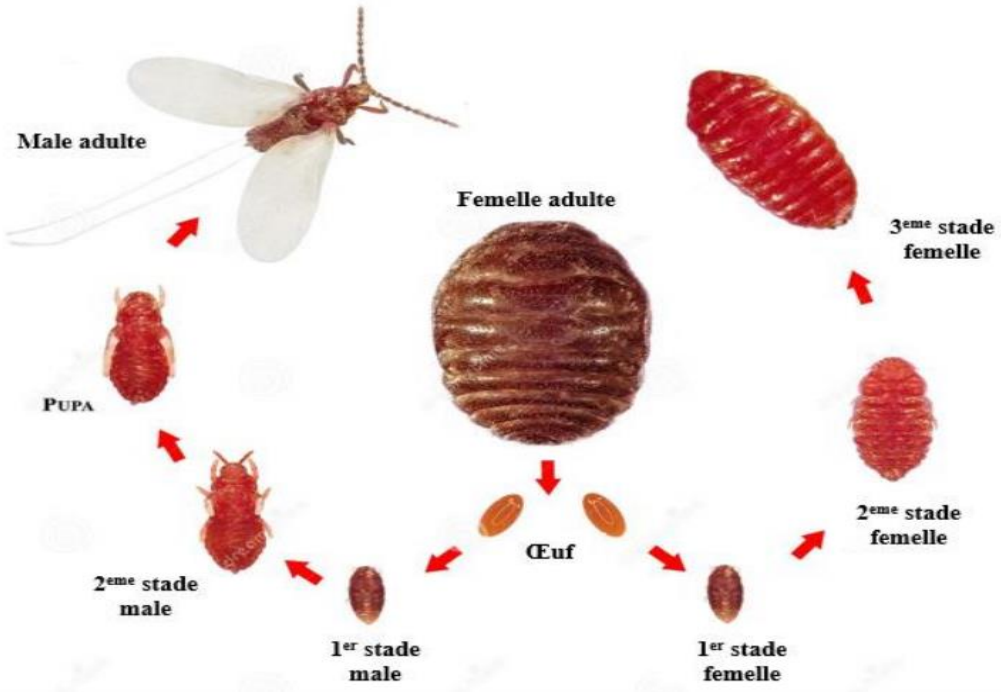


Figure 8 : Cycle biologique de l'œuf à l'adulte (Liberato Portillo et Ana Lilia Vigueras, 2018)

II.1.1 Premier stade larvaire

Au premier stade larvaire, les différences entre les deux sexes deviennent déjà perceptibles. Les larves mâles sont généralement plus allongées, tandis que les larves femelles augmentent progressivement de taille. Après l'éclosion, les jeunes femelles quittent leur mère pour se fixer sur un nouveau cladode où elles commencent à se nourrir, alors que les mâles restent temporairement à proximité de la femelle adulte (Palafox-Luna *et al.*, 2018 ; Torres et Giorgi, 2018).

II.1.2 Deuxième stade larvaire

Le deuxième stade est plus long chez les femelles que chez les mâles. Les femelles s'installent définitivement sur les cladodes, y insèrent leurs pièces buccales et commencent à sécréter une couche de cire protectrice. Les mâles, en revanche, cessent de s'alimenter, recherchent un nouvel emplacement sur le cladode et entrent au stade nymphal avant leur transformation en adulte (Inglese *et al.*, 2017 ; Palafox-Luna *et al.*, 2018).

II.1.3 Stade adulte

À l'état adulte, les femelles deviennent plus volumineuses en raison du développement des œufs et sont entièrement recouvertes d'une épaisse couche de cire blanche. Elles demeurent fixées sur les cladodes pour se nourrir et assurer leur reproduction. Les mâles, quant à eux, sont de petite taille, possèdent une paire d'ailes et deviennent mobiles. Leur principal rôle est de rechercher les femelles pour l'accouplement (Inglese *et al.*, 2017 ; Palafox-Luna *et al.*, 2018).



Figure 9 : Le mâle et la femelle de la cochenille, *Dactylopius opuntiae* (Inglese et *al.*, 2017 ; Palafox-Luna et *al.*, 2018)

II.2 Dégâts de *Dactylopius opuntiae* en Algérie

La cochenille *Dactylopius opuntiae* a été signalée pour la première fois en Afrique du Nord en 2016, au Maroc, avant de se propager vers l'ouest de l'Algérie. Les premières infestations ont été observées dans la wilaya de Tlemcen, notamment dans plusieurs localités de la région de Msirda, où ce ravageur a causé d'importants dégâts sur les plantations de figuier de Barbarie (*Opuntia ficus-indica*) (El Bouhissi*et al.*, 2021) (Fig. 12).

Selon El Bouhissi *et al.* (2021), les niveaux d'infestation les plus élevés ont été enregistrés dans les zones situées à proximité de la frontière algéro-marocaine. Par la suite, *D. opuntiae* s'est rapidement propagée vers d'autres régions, provoquant une forte régression des plantations d'*Opuntia* spp. et d'importantes pertes économiques liées à la diminution de la production et à la mortalité des plants (Vanegas-Rico *et al.*, 2010 ; Chavez-Moreno *et al.*, 2011).

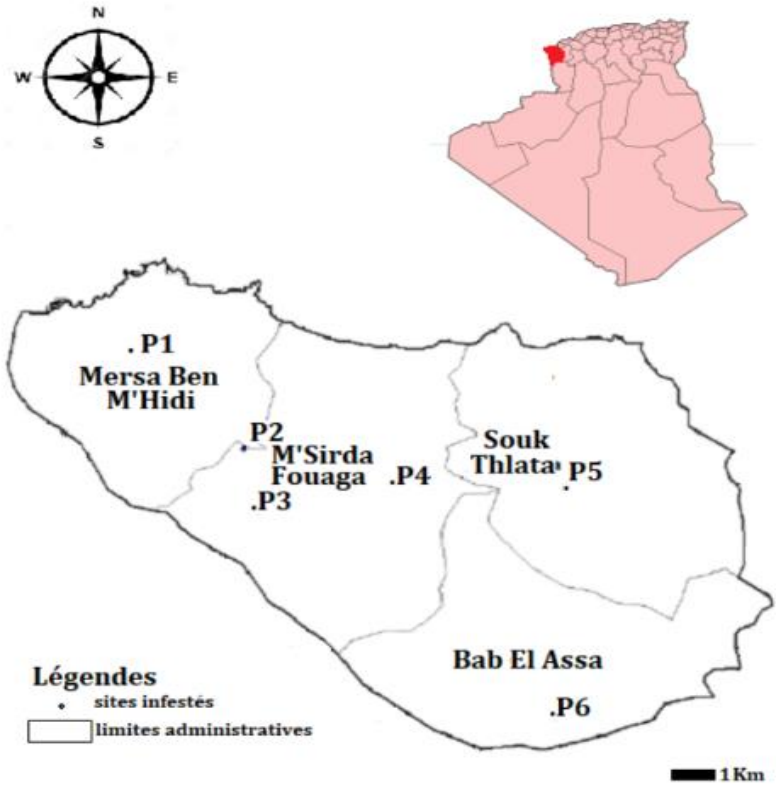


Figure 10 : Localisation d'infestation d'*O. ficusindica* par *D. opuntiae* dans la région de Tlemcen (El Bouhissi et *al.*, 2021)

II.2.1 Méthodes de lutte contre *Dactylopius opuntiae*

La lutte contre *Dactylopius opuntiae* repose sur plusieurs approches complémentaires : méthodes mécaniques, chimiques et biologiques (Zimmermann et Granata, 2002 ; Vanegas-Rico *et al*., 2010). Le choix de la stratégie varie selon l'intensité de l'infestation, les conditions du milieu et les objectifs de gestion (Mondragón-Jacobo et Pérez-González, 2001 ; Inglese, 2018).

II.2.1.1 Lutte mécanique et physique

La lutte mécanique est efficace lorsque les premiers foyers d'infestation sont repérés à temps (Zimmermann et Granata, 2002 ; Vanegas-Rico *et al*., 2010). Elle consiste à retirer à la main les cladodes ou les plants fortement infestés pour freiner la propagation de la cochenille. Les parties contaminées doivent ensuite être détruites, le plus souvent par brûlage ou enfouissement, afin d'empêcher la dissémination du ravageur (Mondragón-Jacobo et Pérez-González, 2001 ; Inglese, 2018).

II.2.1.2 Lutte chimique

La lutte chimique est recommandée lorsque le seuil d'infestation devient important, notamment lorsque plus de 30 % des plantes présentent plus de dix colonies de cochenilles. Des traitements à base de chlorpyrifos, seul ou associé à la cyperméthrine, ont montré une efficacité satisfaisante pour réduire les populations de *D. opuntiae* (Brito *et al.*, 2008).

II.2.1.3 Lutte biologique

La lutte biologique repose sur l'utilisation d'ennemis naturels de *D. opuntiae*. En raison de la présence d'acide carminique dans son organisme, cette cochenille est peu sensible aux parasitoïdes. En revanche, plusieurs insectes prédateurs contribuent à la régulation de ses populations, notamment *Leucopis bellula* (Diptera : Chamaemyiidae), *Sympherobius barberi* (Neuroptera : Hemerobiidae) et *Laetilia coccidivora* (Lepidoptera : Pyralidae) (Vanegas-Rico *et al.*, 2010 ; Garcia *et al.*, 2016).

Deux biotypes de *D. opuntiae* sont distingués. Le biotype « *stricta* » est spécifique des espèces de faible développement, telles qu'*Opuntia stricta*, tandis que le biotype « *ficus* » est principalement associé aux cactus arborescents, notamment *Opuntia ficus-indica*. Le biotype « *stricta* » a été utilisé avec succès pendant plus de soixante ans dans les programmes de lutte biologique contre *O. stricta* en Australie (Githure *et al.*, 1999).

Chapitre III :

Plante médicinale

L'ortie dioïque (Urtica dioica L.) et le fruit de savonniers (Sapindus mukorossi)

III.1 L'ortie dioïque *(Urtica dioica L.)*

L'ortie dioïque (*Urtica dioica* L.) est une plante herbacée vivace, robuste et caractérisée par une longue durée de vie. Elle peut atteindre une hauteur supérieure à un mètre. Ses feuilles, de couleur vert vif, sont opposées, pétiolées, stipulées, de forme ovalaire, à bord denté et recouvertes de poils sur leurs deux faces. Les tiges sont dressées, quadrangulaires et garnies de nombreux poils urticants (Fontaine, 2010).

Les fleurs sont de petite taille, unisexuées et de couleur verdâtre. Elles sont regroupées en grappes pendantes situées à l'aisselle des feuilles. Chez les plants femelles, les inflorescences se développent dans la partie supérieure de la tige, tandis que chez les plants mâles, elles prennent la forme de chatons (Desgagnés, 2005).

III.1.1 Classification et caractères botaniques

L'ortie dioïque (*Urtica dioica* L.) (Fig. 13) appartient au genre *Urtica* et à la famille des Urticacées *(Urticaceae***)**. Cette famille botanique regroupe près d'une cinquantaine de genres et plus de 700 espèces réparties dans les différentes régions du monde. Elle comprend des espèces munies de poils urticants, appartenant principalement au genre *Urtica*, ainsi que des espèces dépourvues de ces poils, telles que celles des genres *Parietaria* et *Boehmeria* (APG II, 2003).

Le nom Urtica provient du latin *uro* ou *urere*, qui signifie « brûler », en référence aux poils urticants de la plante, responsables des irritations cutanées provoquées lors d'un simple contact. Quant à l'épithète spécifique dioica, elle fait référence au caractère dioïque de l'espèce, c'est-à-dire que les fleurs mâles et les fleurs femelles sont portées par des individus distincts (Rioux *et al.*, 2009).

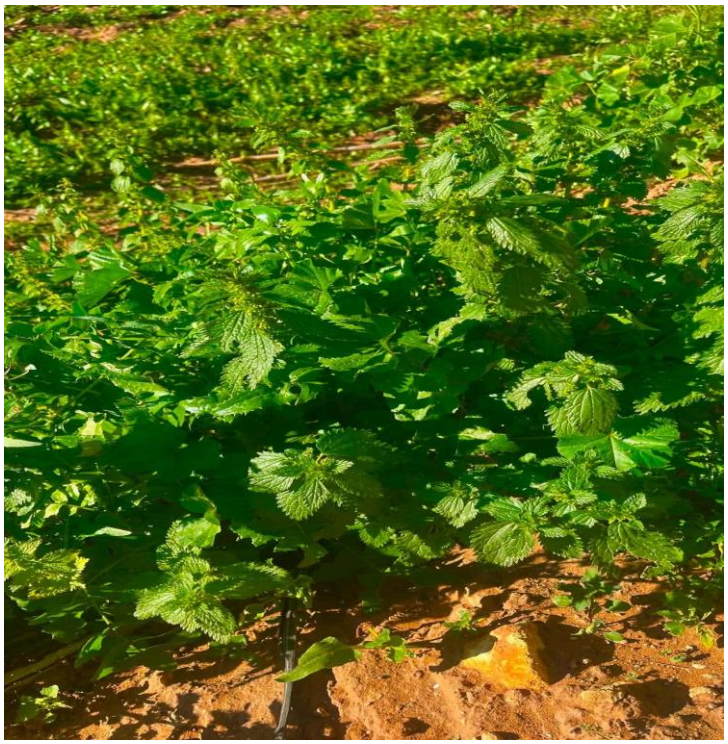


Figure 11 : L'ortie dioïque (Originale ; 2026)

Selon Quezel et Santa (1963), *Urtica dioica* L. appartient au:

Règne : Plantae (Plantes) ;

Sous-règne : Tracheobionta (Plantes vasculaires) ;

Embranchement : Magnoliophyta (Phanérogames) ;

Sous-embranchement : Magnoliophytina (Angiospermes) ;

Classe : Rosideae ;

Sous-classe : Rosideae dialycarpellées ;

Ordre : Rosales ;

Famille : Urticaceae ;

Genre : *Urtica* L. ;

Espèce : *Urtica dioica* L.

III.1.2 Origine

L'ortie est une plante originaire d'Eurasie, mais elle est aujourd'hui largement distribuée dans les régions tempérées de tous les continents. *Urtica dioica* est notamment considérée comme une espèce indigène au Canada (Fontaine, 2010).

Le nom du genre *Urtica* est dérivé du latin *uro* ou *urere*, qui signifie « brûler », en référence aux poils urticants de la plante, dont le contact provoque une irritation cutanée.

L'épithète spécifique *dioica* fait allusion au caractère dioïque de l'espèce, c'est-à-dire que les fleurs mâles et les fleurs femelles sont portées par des individus distincts (Desgagnés, 2005).

III.1.3 Habitat et répartition géographique

L'ortie dioïque est une espèce originaire d'Eurasie qui s'est progressivement répandue dans la plupart des régions tempérées du monde. Elle est aujourd'hui largement naturalisée et se rencontre en Europe, en Afrique du Nord, en Asie ainsi qu'en Amérique du Nord et du Sud (Brisse *et al*., 2003).

Cette plante se développe principalement dans les sols riches en azote, frais et fertiles. Elle colonise fréquemment les terrains en friche, les bords des chemins, les fossés, les lisières de forêts ainsi que les abords des habitations peu entretenues. Sa croissance est vigoureuse et peut atteindre plus d'un mètre de hauteur. La floraison intervient généralement de juin à septembre, tandis que les jeunes pousses sont récoltées au printemps pour leurs différentes utilisations (Poirier, 2005 ; Langlade, 2010).

En Algérie, *Urtica dioica* est largement répandue dans l'ensemble du Tell algérien. Elle est notamment présente dans plusieurs régions telles que le Djurdjura, l'Atlas de Blida, Miliana et la forêt de Bouarbi, dans la wilaya de Boumerdès (Beloued, 1998).



Figure 12 : *Ortie dioïque*. (A) parties aériennes, (l) fleur femelle, (2) fleur mâle, (6) akène, (7) poils urticants. (Lenglen, 2000 in Draghi, 2005)

III.1.4 Morphologie

L'ortie dioïque (*Urtica dioica* L.) est une plante herbacée vivace dont la hauteur va généralement de 30 à 150 cm. Sa tige, robuste, dressée et non ramifiée, est de section quadrangulaire et couverte de poils. Verte chez les jeunes plants, elle prend avec l'âge une teinte rouge violacé (Fontaine, 2010 ; Bisset et Wichtl, 2004). Les feuilles, opposées, ovales à allongées, ont un bord denté et un sommet pointu. Les tiges et les feuilles portent de nombreux poils urticants, semblables à de petites ampoules terminées par une pointe siliceuse recourbée. Au contact de la peau, ces poils se cassent et libèrent un liquide irritant, responsable de la sensation de brûlure typique de l'ortie (Desgagnés, 2005 ; Thurston, 1974).

Urtica dioica est une espèce dioïque : les fleurs mâles et femelles sont portées par des individus différents. Les fleurs, minuscules et unisexuées, apparaissent en général de juin à septembre et sont réunies en grappes ramifiées à l'aisselle des feuilles. Les fleurs femelles, verdâtres, ont un ovaire uniloculaire à un seul ovule, surmonté d'un style à stigmate en pinceau. Les fleurs mâles, jaunâtres, comptent quatre étamines à longs filets élastiques, repliés dans le bouton floral (CABI, 2023 ; Taylor, 2009).

Le fruit est un akène ovale contenant de petites graines brun foncé à noirâtres. Le système racinaire se compose d'une racine pivotante qui se divise en fines radicelles, ce qui permet à la plante de s'étendre peu à peu et de former des peuplements denses (POWO, 2024 ; Grime *et al*., 2007).



Figure 13 : Pied femelle d'Ortie dioïque (Draghi, 2005)

III.1.5 Cycle biologique

L'ortie dioïque (*Urtica dioica* L.) est une plante herbacée vivace dont le cycle biologique comprend plusieurs phases, de la germination à la fructification (Šrůtek et Teckelmann, 1998 ; Kavalali, 2003).

III.1.5.1 Germination

L'ortie peut être multipliée par semis. Les graines germent généralement entre fin mars et début avril, et la densité de plantation est estimée à 45 000 à 50 000 plants par hectare (Bacci *et al*., 2009 ; Di Virgilio *et al*., 2015). La germination reste toutefois irrégulière, car une partie des graines est souvent stérile (Pollard et Briggs, 1982).

La multiplication végétative joue aussi un rôle important dans la propagation de l'espèce. Les racines émettent régulièrement des drageons, et un simple fragment de rhizome peut donner naissance à une nouvelle plante, ce que l'on appelle le bouturage (Šrůtek et Teckelmann, 1998 ; Upton, 2013).

La reproduction sexuée repose sur des fleurs mâles et femelles portées, le plus souvent, par des individus distincts : *Urtica dioica* est donc dioïque. Plus rarement, les deux types de fleurs coexistent sur un même pied, la plante est alors dite monoïque (POWO, 2024 ; Pollard et Briggs, 1982).

III.1.5.2 Floraison

La floraison s'étend du printemps au début de l'automne. Les fleurs, petites, n'ont pas de pétales et ne possèdent que deux sépales. Les fleurs femelles, verdâtres, sont réunies en grappes pendantes, tandis que les fleurs mâles, jaunâtres, forment des épis ou des chatons au port plus horizontal (Kavalali, 2003 ; Upton, 2013).

III.1.5.3 Pollinisation et fructification

La pollinisation est surtout anémophile (assurée par le vent), mais elle peut aussi être entomophile, grâce aux insectes (Taylor, 2009).

Après la fécondation, la plante produit des akènes, fruits secs contenant de très petites graines. Facilement dispersées par le vent, elles favorisent la propagation naturelle de l'ortie et la formation de nouveaux peuplements (Draghi, 2005 ; Šrůtek et Teckelmann, 1998).

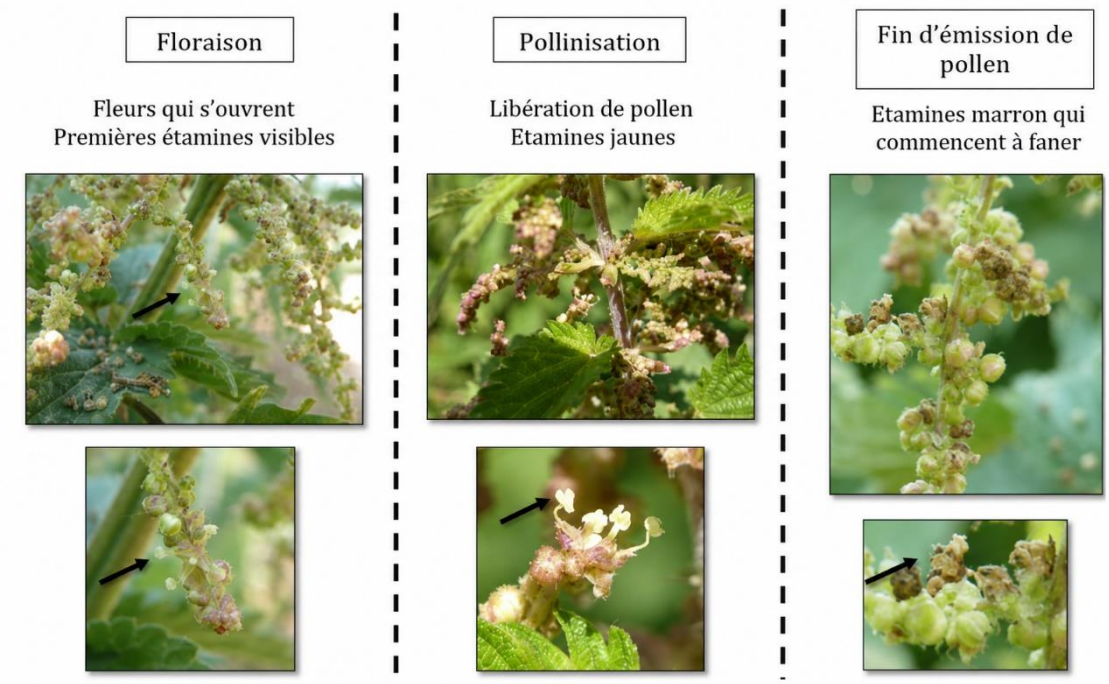


Figure 14 : Cycle biologique de *Urtica dioica* L., comprenant les phases de floraison, de pollinisation et de dissémination du pollen (*Parietaria officinalis L.)*

III.2 *Sapindus mukorossi*

Sapindus mukorossi (Fig. 18) est une espèce arboricole appartenant à la famille des Sapindaceae, qui regroupe environ 2 000 espèces (Rao *et al.*, 2012). Il s'agit d'un arbre caduc largement répandu dans les régions tropicales et subtropicales d'Asie, notamment dans le nord de l'Inde et les zones humides situées au pied de l'Himalaya, où il peut croître jusqu'à une altitude de 1 500 m (Attri *et al.*, 2017).

Son fruit est communément appelé noix de lavage et est également connu sous les noms de Ritha**,** Reetha ou Dodan en Inde (Aneja *et al.*, 2010). Cette espèce occupe une place importante dans la médecine traditionnelle, où elle est utilisée pour le traitement de diverses affections, notamment l'eczéma, les caries dentaires et plusieurs infections bactériennes.

Les fruits de *Sapindus mukorossi* sont particulièrement riches en saponines, des composés naturels possédant un fort pouvoir moussant. Grâce à ces propriétés, ils sont largement utilisés dans la fabrication de shampooings, de détergents liquides, de dentifrices ainsi que dans l'industrie alimentaire comme agents émulsifiants et moussants à effet prolongé (Upadhyay et Singh, 2012).



Figure 15 : *Sapindus mukorossi* (Eickhoff, 2010)

III.2.1 Taxonomie de *Sapindus mukorossi*

Selon Suhagia *et al.* (2011), la classification botanique de *Sapindus mukorossi* est la suivante :

Règne : *Plantae ;*

Classe : *Equisetopsida ;*

Ordre : *Sapindales ;*

Famille : *Sapindaceae ;*

Genre : *Sapindus* ;

Espèce : *Sapindus mukorossi* Gaertn.

III.2.2 Répartition géographique

III.2.2.1 Dans le monde

Originaire d'Asie, *Sapindus mukorossi* est largement réparti depuis l'Inde jusqu'au Japon (Fig. 18). Cette espèce se développe principalement dans les régions ouvertes caractérisées par un climat humide et pluvieux. Bien qu'elle soit d'origine subtropicale, elle présente une bonne tolérance à diverses conditions de culture ainsi qu'une remarquable capacité d'adaptation à différents environnements, ce qui favorise sa culture dans plusieurs régions du monde (Varun *et al.*, 2017).

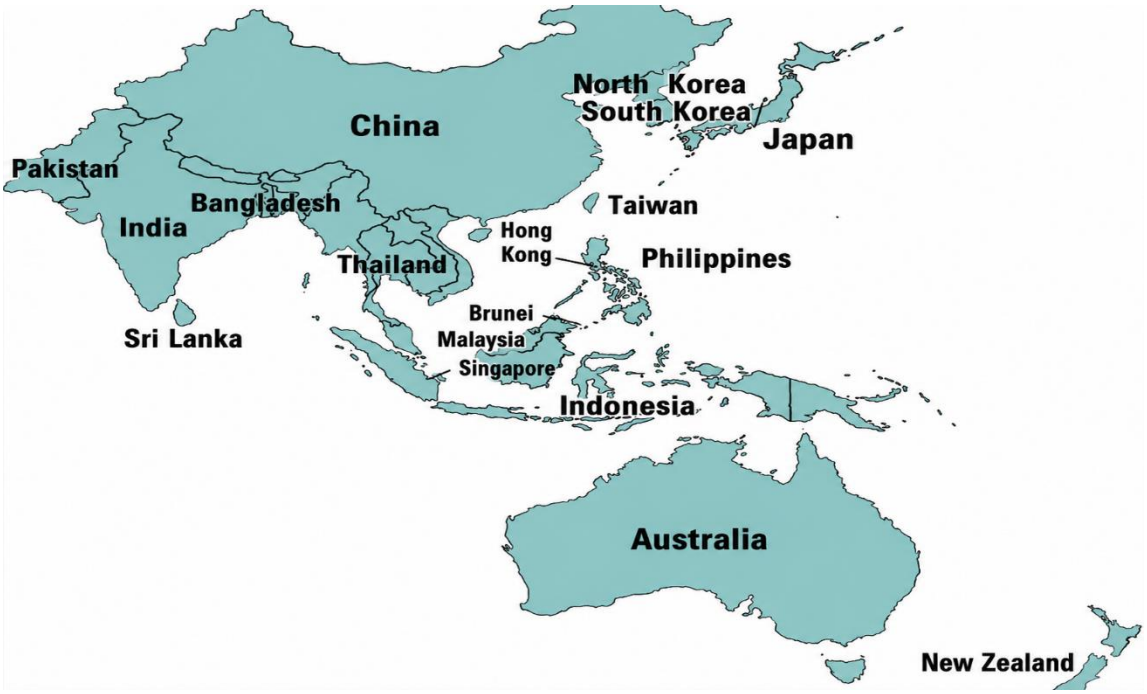


Figure 16 : Répartition géographique de *Sapindus mukorossi* (Varun et *al.*, 2017).

III.2.2.2 En Algérie

Sapindus mukorossi a été introduit et acclimaté dans plusieurs pays, notamment dans les régions méditerranéennes. En Algérie, son introduction remonte au début du XX^{e} siècle, période durant laquelle l'administration coloniale française encourageait le développement de sa culture (Journal *La Quinzaine Coloniale*, juin 1908).

Durant la Seconde Guerre mondiale (1942–1945), les fruits de *Sapindus mukorossi* étaient commercialisés dans les drogueries algériennes en raison de la pénurie de savon. Aujourd'hui, cette espèce est présente dans plusieurs établissements d'Alger, notamment à la Faculté centrale, à l'hôpital Mustapha Bacha, à l'École Nationale Supérieure Agronomique (ENSA) ainsi qu'au Jardin d'Essai d'El Hamma. À Sidi Bel-Abbès, elle a été introduite vers 1930 dans l'ancienne École d'agriculture (actuel Rectorat de l'Université) ainsi que dans le jardin public, sous l'initiative du professeur Jean Paul Théo.

III.2.3 Étymologie

Selon Quattrocchi (2012), *Sapindus mukorossi* est connu sous différentes appellations selon les pays et les langues. En Inde, il est appelé Reetha, en Chine Wuhuanzi, au Népal Ritha et au Japon Mukuro-ju. En Algérie, notamment dans la région d'Alger et en Kabylie, ce fruit est couramment désigné sous le nom de « Sabone Dzair ».

III.2.4 Description botanique

Sapindus mukorossi Gaertn., communément appelé arbre à savon, est un arbre surtout répandu dans les plaines indo-gangétiques, les monts Shivaliks et les régions sub-himalayennes, entre 200 et 1500 m d'altitude (Upadhyay et Singh, 2012 ; Kumar *et al*., 2017). Selon les conditions de croissance, sa hauteur varie de 4 à 15 m. Il se caractérise par un tronc relativement court et une cime arrondie (Sharma *et al*., 2011 ; Upadhyay et Singh, 2012).

Les feuilles, alternes et composées, sont caduques ou persistantes selon le climat (Fig. 19). Elles comptent 14 à 30 folioles réparties de part et d'autre d'un rachis central, la foliole terminale étant le plus souvent absente. En climat tempéré, le feuillage, d'un vert foncé mat, vire au jaune-orangé en automne avant de tomber (Aneja *et al*., 2010 ; Sharma *et al*., 2011).



Figure 17 : Arbuste et feuilles de *Sapindus mukorossi* (A. B) (Sharma et *al.*, 2011).

Les fleurs (Fig.20) de 3 mm paraissent en panicules crème de 15 cm de diamètre, en extrémité de rameau et sont constituées de 5 pétales et de nombreuses étamines. La floraison a lieu en fin de printemps. Elle donne naissance à un chapelet de billes vert clair devenant marron rouge brillant en séchant, de 1 à 2 cm de diamètre. Il s'agit de drupes, des fruits à gros noyau central entouré d'une pulpe, appelée péricarpe, que l'on sépare du noyau pour son utilisation en noix de lavage.



Figure 18 : Fleurs de *Sapindus mukorossi* (Anonyme, 2026)

Les fruits sont des noix rondes de 2-2.5 cm de diamètre, charnu, de couleur brun jaunâtre, et contient à l'intérieur une graine de 0.8 à 1.3 cm de diamètre (Fig. 21).

La noix contient des saponines, une substance qui devient mousseuse au contact de l'eau, et se comporte en véritable détergent naturel antibactérien et hypoallergénique que l'on peut ajouter dans le lave-linge pour remplacer la lessive (Vipasha, 2017).



Figure 19 : Aspects des fruits et des graines de *Sapindus mukorossi* (Original,2026)

III.2.5 Propriétés biologiques de *Sapindus mukorossi*

Les fruits de *Sapindus mukorossi* sont particulièrement riches en saponines, des métabolites secondaires reconnus pour leurs nombreuses activités biologiques et leur important potentiel pharmacologique. Ces composés ont fait l'objet de nombreuses études au cours des dernières années en raison de leurs applications dans les domaines pharmaceutique, médical et agroalimentaire (Francis *et al.*, 2002). Les saponines stéroïdiques et triterpéniques présentent plusieurs propriétés biologiques, parmi lesquelles figurent les activités antibactérienne, cytotoxique, hémolytique, fongicide et insecticide.

III.2.5.1 Activité antibactérienne

Selon Ibrahim *et al.* (2006), les extraits éthanolique et chloroformique de *Sapindus mukorossi* exercent une activité inhibitrice significative contre *Helicobacter pylori*. Des essais in vitro ont mis en évidence une importante zone d'inhibition à une concentration de seulement 10 µg/mL. Les expérimentations *in vivo*, réalisées chez des rats mâles traités par voie orale pendant sept jours, ont montré qu'une dose minimale de 2,5 mg/mL permettait d'éliminer efficacement l'infection.

III.2.5.2 Activité cytotoxique et antitumorale

Les saponines extraites de *Sapindus mukorossi* possèdent une activité cytotoxique contre de nombreuses lignées cellulaires cancéreuses. Les concentrations inhibitrices (IC_{50}) rapportées dans la littérature varient de 4 ng/mL à 20 µg/mL, selon la nature des saponines et le type de cellules étudiées (Lacaille-Dubois, 2000).

Par ailleurs, plus de onze classes de saponines ont démontré leur capacité à inhiber l'angiogenèse tumorale en supprimant les facteurs responsables de la formation de nouveaux vaisseaux sanguins. Elles contribuent également à limiter l'adhésion, l'invasion et la dissémination des cellules cancéreuses, réduisant ainsi le développement des métastases (Upadhyay et Singh, 2012).

III.2.5.3 Activité hémolytique

Les saponines sont connues pour leur aptitude à interagir avec les membranes cellulaires en provoquant la formation de pores, ce qui entraîne l'hémolyse des globules rouges. Cette propriété est largement exploitée pour la détection des saponines dans les extraits végétaux à l'aide de tests hémolytiques. Toutefois, leur forte activité hémolytique constitue également une limite à leur utilisation thérapeutique, notamment lors d'une administration par voie intraveineuse, en raison de leur toxicité potentielle (Bouragan, 2013).

III.2.5.4 Activité fongicide

L'extrait brut de *Sapindus mukorossi* présente une activité antifongique importante contre *Candida albicans*, levure responsable de la candidose cutanée. Les fractions riches en saponines inhibent également la croissance de plusieurs dermatophytes, notamment *Trichophyton rubrum*, *Sabouraudites canis* et *Epidermophyton floccosum* (Upadhyay et Singh, 2012).

III.2.5.5 Activité insecticide

Les extraits éthanoliques de *Sapindus mukorossi* possèdent des propriétés répulsives et insecticides contre plusieurs insectes nuisibles, notamment *Sitophilus oryzae* et *Pediculus humanus*. Ces résultats confirment le potentiel de cette espèce comme source de biopesticides d'origine naturelle (Suhagia *et al.*, 2011)

Partie expérimentale

Chapitre I : Matériel et méthodes

I.1 Le matériel Végétal

I.1.1 *Urtica dioica*

On a collecté l'espèce *Urtica dioica* au niveau de la ferme expérimentale de l'Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, située dans la commune de Mostaganem, au mois de février 2026. L'identification de la plante a été réalisée par Mme Boualem.



Figure 20 : Feuille et plante d'*Urtica dioica* (Keddar, 2026)

I.1.2 *Sapindus mukorossi*

On a récolté les échantillons de l'espèce *Sapindus mukorossi* au niveau de la ferme expérimentale de l'Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, située dans la commune de Mostaganem, au mois de février 2026. L'identification de l'espèce a été réalisée par Mme Boualem.



Figure 21 : Échantillonnage de *Sapindus mukorossi* (Original, 2026)

I.2 L'extraction des polyphénols

I.2.1 Le principe de l'éxtraction de l'ortie (*Urtica dioica*) à l'éthanol

L'extraction des polyphénols des feuilles et des racines d'*Urtica dioica* a été réalisée par macération dans l'éthanol, selon le principe de l'extraction solide-liquide. Cette méthode repose sur la diffusion des composés bioactifs de la matrice végétale vers le solvant, favorisée par leur affinité chimique avec celui-ci (Azmir *et al*., 2013). L'éthanol est particulièrement adapté à l'extraction des composés phénoliques, notamment les acides phénoliques et les flavonoïdes, grâce à ses propriétés de polarité et à sa facilité d'évaporation (Dai et Mumper, 2010). Après extraction, le solvant est éliminé à l'aide d'un évaporateur rotatif (rotavapor) afin de concentrer l'extrait. L'utilisation de mélanges hydroéthanoliques peut également améliorer le rendement d'extraction en favorisant le gonflement des tissus végétaux et la diffusion des composés solubles (Sasidharan *et al*., 2011).

I.2.1.1 Protocole d'extraction

L'extraction des polyphénols des feuilles d'*Urtica dioica* a été réalisée selon la méthode de macération solide-liquide. La matière végétale, préalablement séchée à l'ombre, a été broyée jusqu'à l'obtention d'une poudre de granulométrie comprise entre 0,5 et 1mm. La poudre obtenue a ensuite été mise en macération dans une solution d'éthanol à 80 %, selon un rapport matière végétale/solvant de 1:20 (m/v), à température ambiante, sous agitation et à l'abri de la lumière. Après macération, le mélange a été filtré à l'aide de papier filtre Wattman n°1. Les filtrats obtenus ont été regroupés, puis concentrés à l'aide d'un évaporateur rotatif, sous pression réduite, avec une température de bain ne dépassant pas 40°C, afin de limiter la

dégradation des composés thermosensibles, jusqu'à l'obtention d'un extrait sec, qui a été pesé afin de déterminer le rendement d'extraction selon la formule d'Abbot :

$$R\ (\%) = M'/Mx\ 100$$

R : Rendement d'extraction en pourcentage ;

M': Masse de l'extrait sec en gramme ;

M : Masse de la matière végétale en gramme.

Les extraits obtenus ont été conservés à 4°C, à l'abri de la lumière, jusqu'à leur utilisation ultérieure.



Figure 22 : Matériel utilisés lors de l'extraction éthanolique (Original, 2026)

I.2.2 Protocole de macération des fruits de savonnier (*Sapindus mukorossi)*

Cette partie de notre travail expérimental a nécessité l'utilisation de 1600g de fruits de *S. mukorossi* préalablement récoltés et lavés à l'eau afin d'éliminer les impuretés et les particules de poussière. Pour la macération, les fruits ont été placés dans un récipient propre, auquel a été ajoutée de l'eau distillée à raison de 100 mL pour 100 g de fruits, soit un volume total de 1 600 mL. Le mélange a été maintenu en macération pendant trois jours, dans un récipient couvert, à l'ombre et à température ambiante. À l'issue de cette période, le mélange a été filtré afin de récupérer l'extrait aqueux. Le volume obtenu a ensuite été mesuré et considéré comme la

solution mère, correspondant à une concentration de référence de 100%. Enfin, différentes dilutions ont été préparées à partir de cette solution mère, en utilisant de l'eau distillée comme diluant, afin d'obtenir les concentrations nécessaires aux essais expérimentaux.

I.2.3 Préparation des dilutions

Après la préparation des solutions mères, les différentes concentrations des extraits ont été obtenues par dilution à l'aide de la relation C1×V1=C2×V2. Quatre doses (100%, 80%, 60% et 40%) ont ainsi été préparées pour l'extrait d'ortie et l'extrait aqueux des fruits de savonnier. Afin d'évaluer un éventuel effet synergique entre les deux extraits, des solutions combinées ont également été préparées selon les mêmes niveaux de concentration. Enfin, un témoin négatif, constitué uniquement d'eau distillée, a été utilisé pour vérifier l'effet éventuel des conditions naturelles sur les résultats expérimentaux.

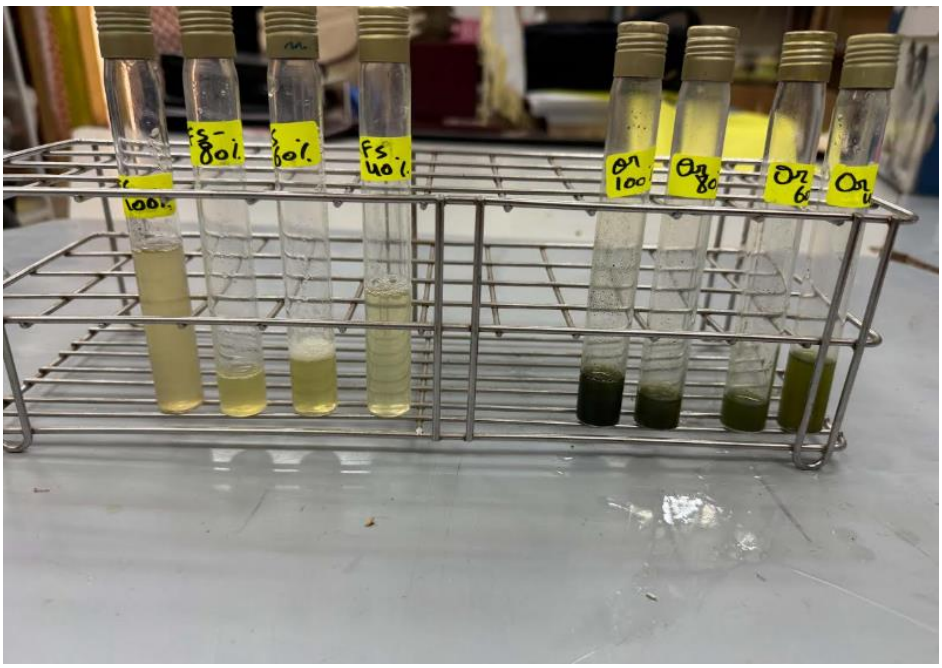


Figure 23 : Extraits dilués des différentes espèces végétales étudiées (Original, 2026)

I.2.4 L'activité insecticide

L'activité insecticide des extraits d'*Urtica dioica* et des fruits du savonnier a été évaluée individuellement et en association afin de déterminer leur potentiel bioinsecticide à l'égard des femelles de la cochenille farineuse du figuier de Barbarie "*D. opuntiae*". Le dispositif expérimental a concerné 64 boîtes de Petri, réparties entre les différents traitements, à raison de 16 boîtes par traitement et de quatre répétitions pour chaque dose testée. Chaque boîte contenait

une tranche de cladode saine, sur laquelle cinq femelles adultes de *D. opuntiae* ont été déposées. Ainsi, un total de 320 individus a été soumis aux différents traitements expérimentaux.

L'application des traitements a débuté le 12 mai 2026 par pulvérisation de chaque boîte à l'aide de la préparation correspondante, conformément au protocole expérimental établi. La mortalité des femelles a ensuite été observée et enregistrée quotidiennement afin de suivre l'évolution de l'activité insecticide des différentes préparations. Une seconde pulvérisation a été réalisée au sixième jour de l'expérimentation, après quoi le suivi quotidien de la mortalité a été poursuivi afin d'évaluer l'efficacité des traitements durant toute la période d'observation.

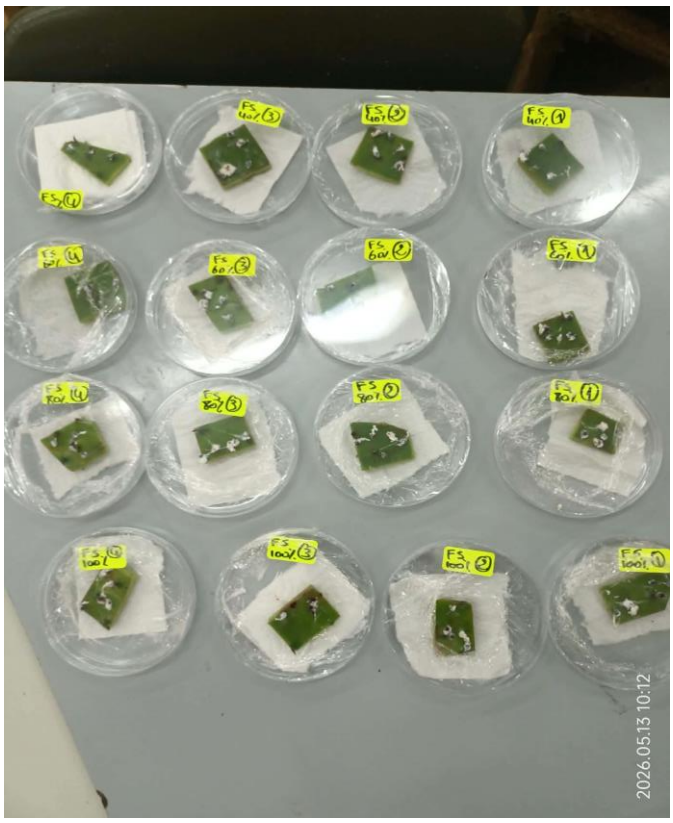


Figure 24 : Dispositif expérimental du traitement (Originale, 2026)

Chapitre II :

Résultats et discussion

II.1 Rendement de l'extraction de l'ortie

Les rendements des différents extraits sont définis comme étant les rapports de la quantité de la substance végétale extraite sur la quantité de la matière végétale utilisée (Clémence et Dongmo, 2009).

Le rendement obtenu pour l'extrait de l'ortie a été de l'ordre de 10,3%.

$$\mathbf{R\%} = \frac{\mathbf{1{,}03}}{\mathbf{10}} \times \mathbf{100} = \mathbf{10{,}3\%}$$

II.2 Essai du test insecticide à l'égard des adultes femelles de la cochenille farineuse du figuier de barbarie

II.2.1 L'effet bioinsecticide de l'extrait hydroalcoolique d'*U. dioica* sur *D. opuntia*

Les observations sous loupe binoculaire révèlent des altérations chez les cochenilles exposées à toutes les concentrations d'extrait d'*Urtica dioica* à partir du quatrième jour de traitement. Les adultes femelles présentent un corps desséché et brun foncé, tandis que la cire cotonneuse reste visible autour d'eux (Fig. 28).

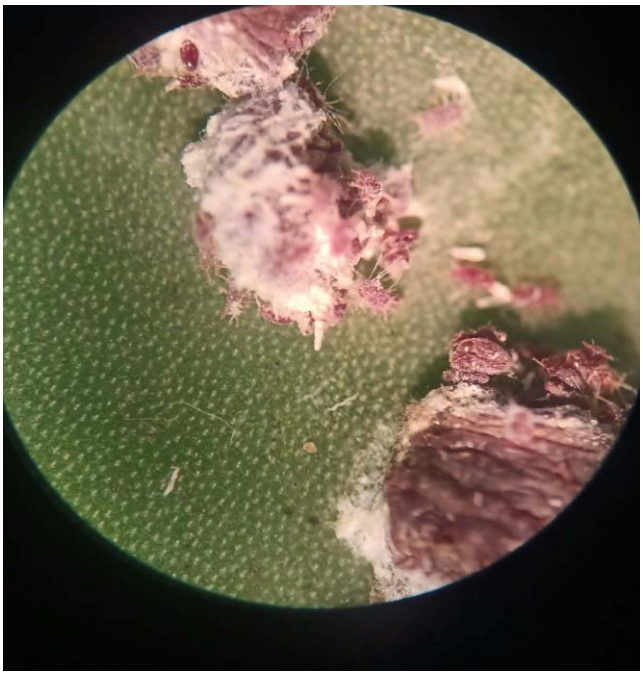


Figure 27 : L'effet d'extrait hydroalcoolique d'*U. dioica* sur les femelles de *D. opuntiae* (Originale, 2026)

II.2.1.1 Effet de l'extrait de l'ortie sur la mortalité corrigée et cumulée des femelles de *D. opuntiae*

La mortalité cumulée est restée relativement faible au cours de la première phase de l'essai, atteignant environ 20% entre le premier et le quatrième jour, puis 30% aux cinquième et sixième jours. Toutefois, une augmentation marquée de la mortalité a été enregistrée après la seconde application du traitement, avec un taux d'environ 90% au septième jour, suivi d'une mortalité totale (100%) aux onzième et douzième jours. Ces résultats suggèrent que la répétition du traitement contribue à renforcer l'efficacité insecticide des extraits et à améliorer le contrôle des femelles de *D. opuntiae* (Fig. 29).

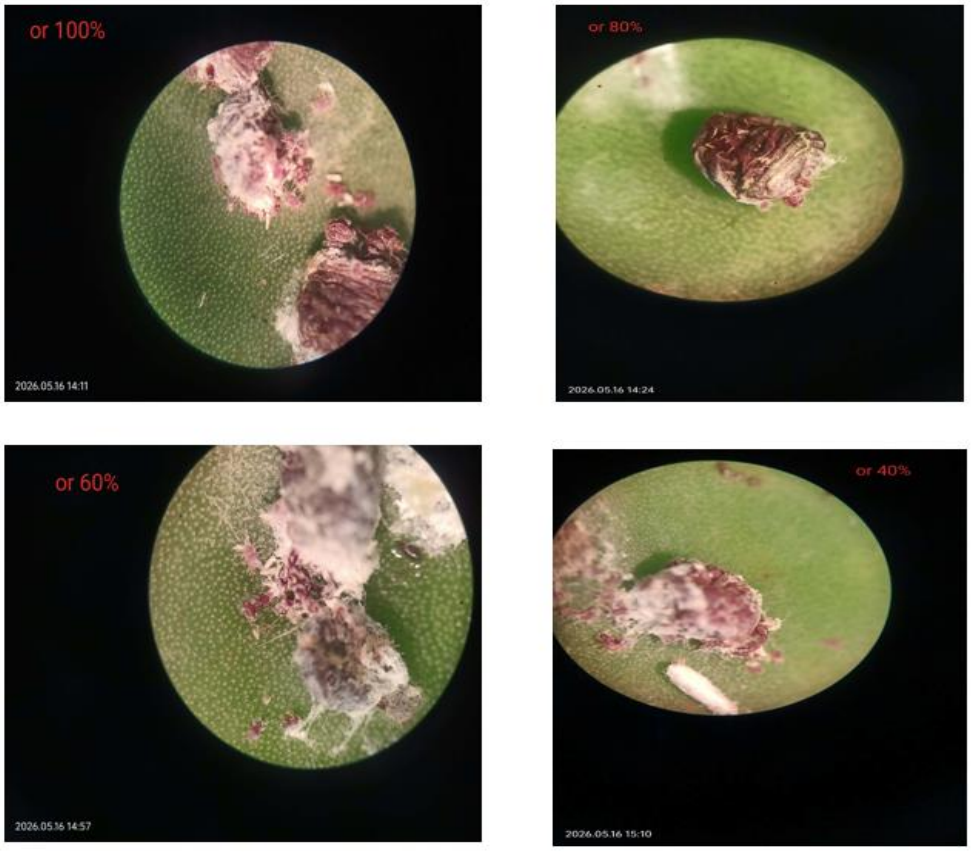


Figure 28 : Etat des Femelles de *D. opuntiae* après le 4e jour de traitement aux différentes doses de l'extrait d'*U. dioica* (Originale, 2026)

Avant le deuxième traitement, la mortalité corrigée varie de 0 à 53 %, la concentration de 80 % présentant la meilleure efficacité. Après le second traitement, appliqué au jour 7 (J7), la mortalité augmente fortement dans toutes les modalités, atteignant 100 % entre J10 et J12.

Toutefois, ces résultats doivent être interprétés avec prudence, puisque le témoin atteint également 100 % de mortalité à la fin de l'essai et qu'aucune relation dose-réponse claire n'est observée. Ainsi, l'effet insecticide potentiel de l'extrait d'*Urtica dioica* semble se renforcer après la répétition du traitement (Fig. 30).

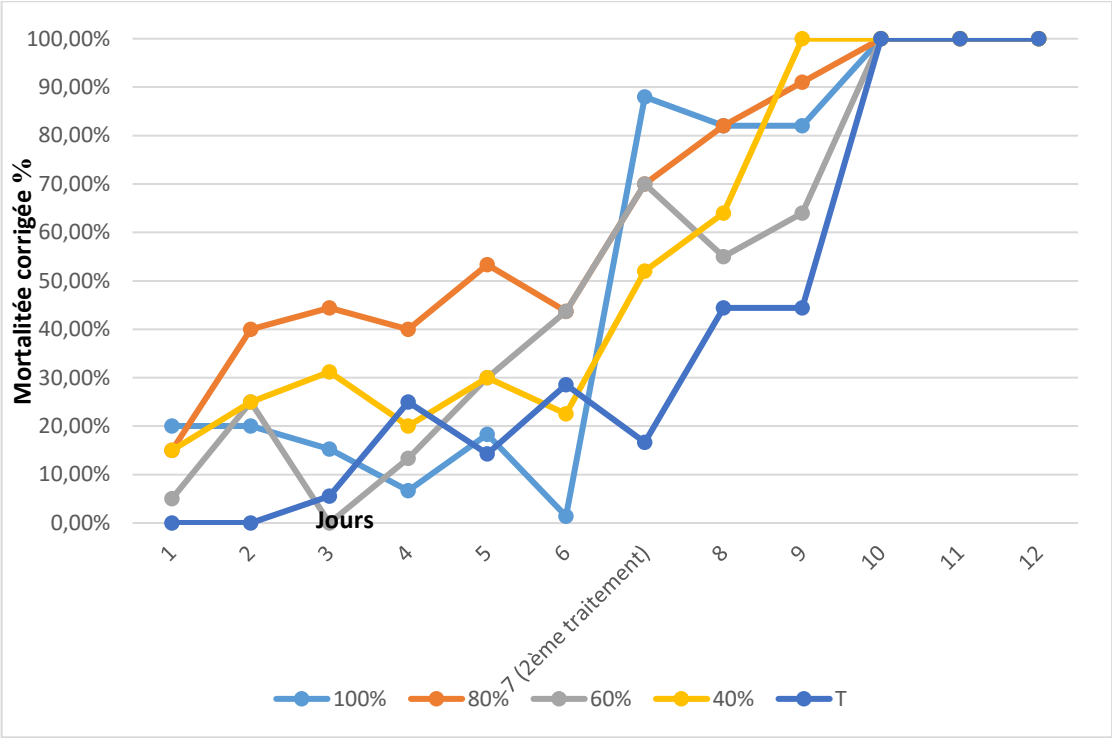


Figure 29 : Évolution de la mortalité corrigée des cochenilles traitées par différentes doses d'extrait d'ortie

II.2.1.2 Détermination de la dose létale DL_{50} de l'extrait de l'ortie

La DL_{50} (dose létale 50) est la dose d'une substance qui provoque la mort de 50 % des individus d'une population test, dans des conditions expérimentales définies et pendant une durée donnée. Elle s'exprime généralement en mg de substance par kg de poids corporel. Plus la DL50 est faible, plus la substance est toxique (IUPAC, 2025).

La DL_{50} de l'extrait hydroalcoolique d'ortie (*U. dioica*), estimé à 0,33 %, indique que cette concentration permet de provoquer la mortalité de 50 % des cochenilles exposées. Cette valeur témoigne d'un potentiel insecticide de l'extrait étudié (Fig. 31).

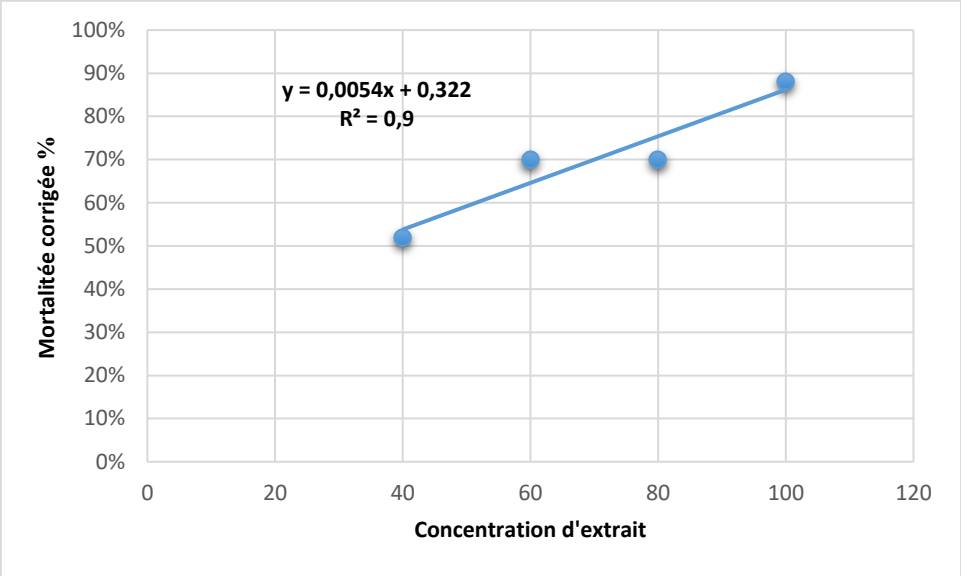


Figure 30 : Courbe de régression pour la détermination de la DL 50 de L'extrait d'*U. dioica*

II.2.2 Essai de l'effet bioinsecticide de la solution aqueuse de fruit de savonnier sur les adultes femelles de *D. opuntiae*

II.2.2.1 Effet de l'extrait de la solution aqueuse de fruit de savonnier sur la mortalité cumulée et corrigée des adultes femelles de *D. opuntiae*

Après quatre jours d'exposition à la solution aqueuse des fruits du savonnier, aux concentrations de 80 et 100 %, les femelles de *D. opuntiae* présentent des altérations morphologiques notables. Les individus traités se caractérisent notamment par un assombrissement et une rétraction du corps, tandis que des amas de cire cotonneuse demeurent visibles autour des insectes (Fig. 32). Le taux de mortalité atteint 70 % aux concentrations les plus élevées, contre environ 10 % chez les individus du lot témoin. Ces observations suggèrent une activité insecticide potentielle de la solution aqueuse des fruits du savonnier à l'égard de *D. opuntiae*.

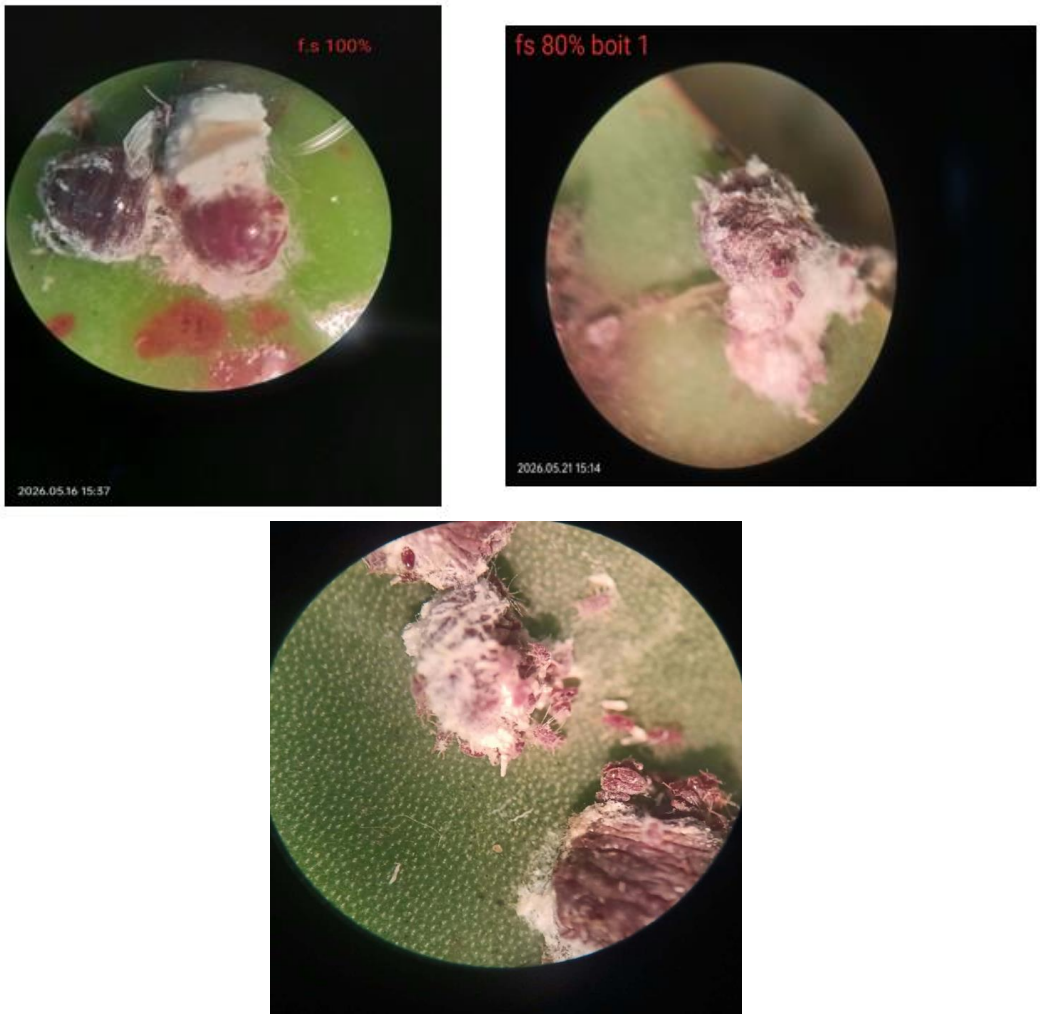


Figure 31 : Évolution de la mortalité des cochenilles traitées par différentes doses de la solution aqueuse de fruits de savonnier

Les résultats obtenus avant la seconde application du traitement (de J1 à J6), ont montré que la mortalité corrigée n'avait pas atteint la mortalité absolue de 100%. Elle par contre variée en fonction des concentrations de la solution aqueuse des fruits du savonnier. En effet, la concentration de 100% a présenté l'efficacité la plus élevée, avec un taux de mortalité de 73% à J3 et de 93% à J6. Suivie par la concentration de 40%, pour laquelle la mortalité a été de 53%. Par ailleurs, la concentration de 60% a induit une mortalité plus faible, comprise entre 20 et 25% jusqu'au J5, tandis que celle de 80% a entraîné des taux de mortalité de 35%. Ces résultats ne permettent donc pas d'établir une relation dose-réponse clairement proportionnelle entre la concentration de l'extrait et la mortalité observée (Fig. 33).

À la suite de la seconde application, réalisée à J7, une augmentation marquée de la mortalité est observée pour l'ensemble des concentrations testées. Le taux de mortalité a atteint

des taux de 100% dès le J7 pour les concentrations de 100 et 60% et au J8 et J10 pour les concentrations de 40 et 80 %, respectivement. Ces observations suggèrent une augmentation de l'efficacité du traitement après sa répétition (Fig. 32). Toutefois, il nous a été permis de constater lors de nos observations que le témoin avait noté également des taux de mortalité de 100 % au J11. Néanmoins, les observations suggèrent une activité insecticide potentielle, particulièrement marquée à la concentration de 100 %, qui provoque une mortalité plus rapide (Fig. 33).

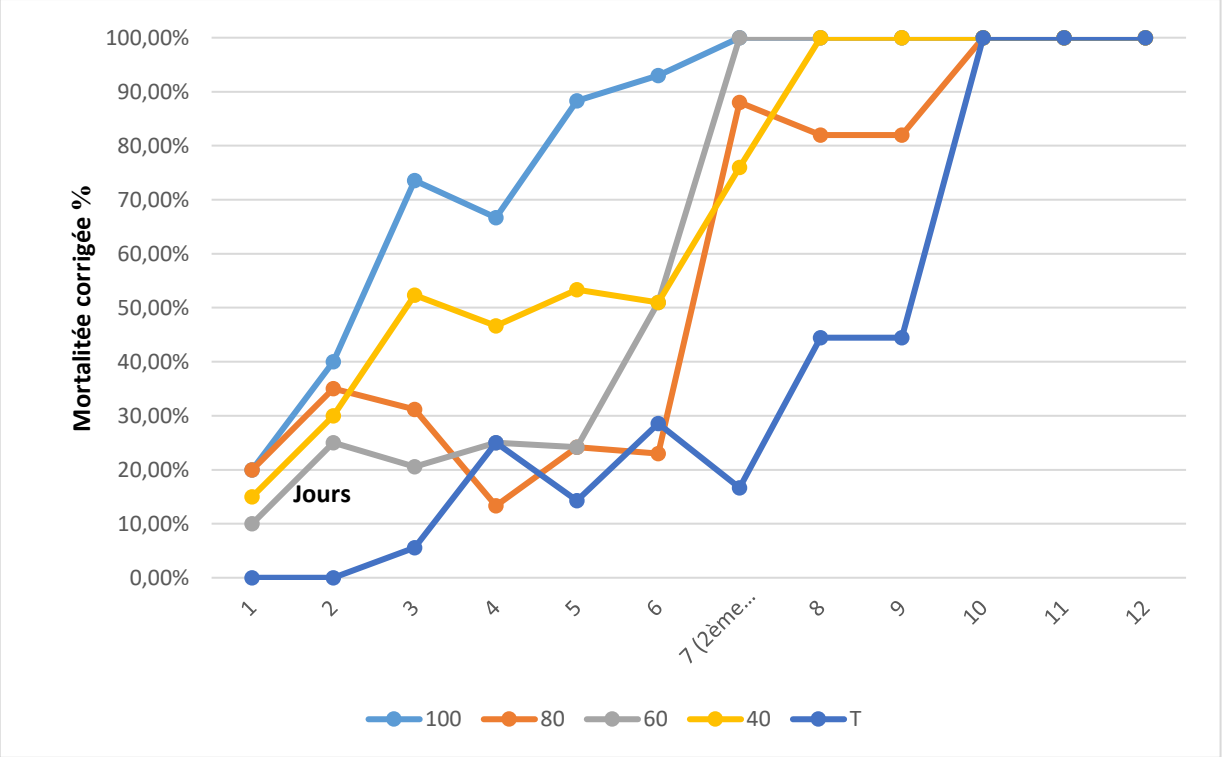


Figure 32 : Évolution temporelle de la mortalité corrigée des cochenilles traitées par différentes doses de fruit de savonnier

II.2.2.2 Détermination de la dose létale DL_{50} de la solution aqueuse du savonnier

La DL_{50} de la solution aqueuse du fruit de savonnier, estimé à 1,58 %, correspond à la concentration nécessaire pour provoquer la mortalité de 50 % des cochenilles exposées dans les conditions expérimentales de l'étude. Comparée à celle de l'extrait d'ortie (0,33 %), cette valeur plus élevée indique que l'extrait de savonnier présente une activité insecticide plus faible (Fig. 34).

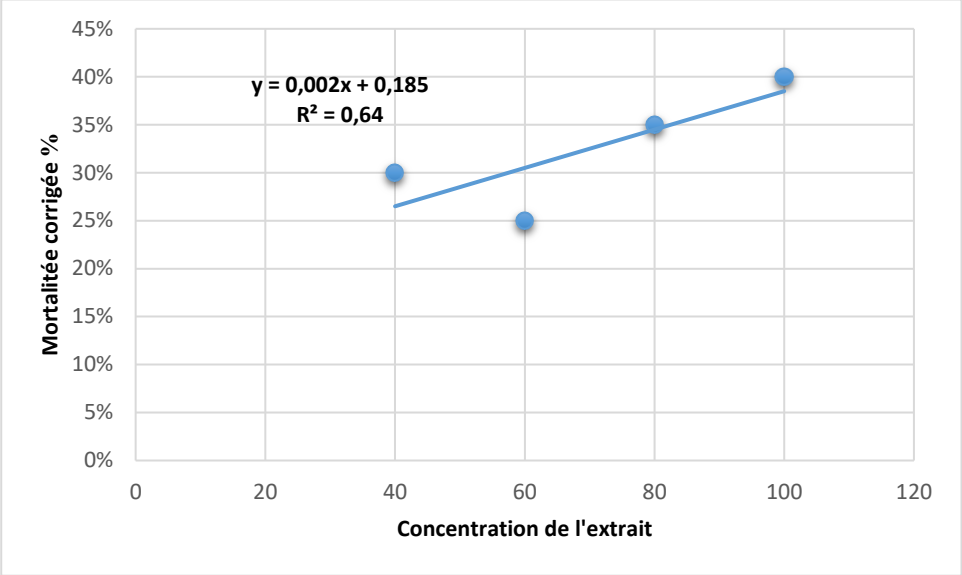


Figure 33 : Courbe linéaire des mortalités corrigées des cochenilles traitées par l'extrait de fruit de savonnier

II.2.3 Effet bioinsecticide des deux solutions en synergie comme traitement à l'égard des femelles de *D. opuntiae*

II.2.3.1 Évolution de la mortalité des femelles de cochenilles traitées avec différentes doses d'extrait en synergie

L'utilisation combinée des extraits d'*U. dioica* et du fruit de savonnier pourrait renforcer l'effet insecticide sur les cochenilles et entraîner une augmentation de la mortalité par rapport à l'application des extraits séparément. Cette amélioration potentielle pourrait s'expliquer par une complémentarité entre les composés bioactifs des deux extraits, susceptibles d'agir selon des mécanismes différents ou complémentaires.

Après quatre jours de traitement, l'observation des femelles de *D. opuntiae* à la loupe binoculaire révèle, chez les individus exposés à la solution synergique aux concentrations de 60 et 100%, des altérations morphologiques caractérisées par un assombrissement et une rétraction du corps, accompagnés d'une coloration brun-rougeâtre. Des amas de cire cotonneuse demeurent toutefois visibles autour des individus (Fig. 33).

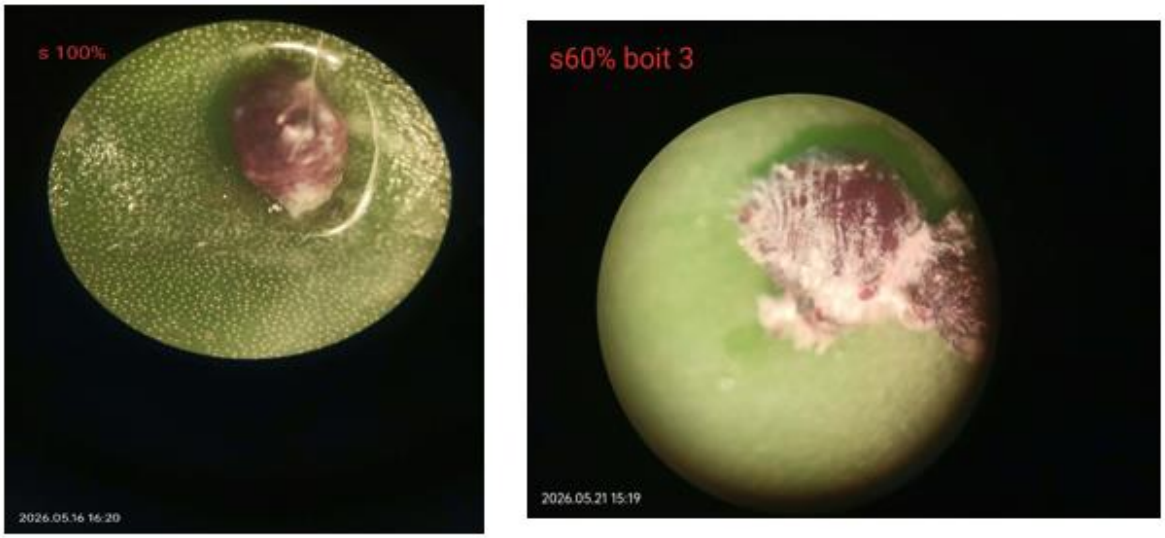


Figure 34 : Effet de la solution synergique après quatre jours de traitement sur les femelles de *D. opuntiae*

Les résultats mettent en évidence une action insecticide potentiellement rapide de la solution synergique dès les premiers jours de traitement. Avant la seconde application (de J1 à J6), les concentrations de 60, 80 et 100% induisent des taux de mortalité compris entre 50 et 75 % respectivement, dès le J2. À J6, ces taux atteignent des valeurs respectives comprises entre 72 et 100 %. Parmi les concentrations testées, celle de 60 % présente la meilleure efficacité, avec une mortalité totale (100 %) dès le J6. En outre, la concentration de 40% se caractérise par une action plus progressive, avec un taux de mortalité d'environ 20% au J2, qui atteint 58% au J6. Malgré cette efficacité plus modérée, la mortalité observée reste supérieure à celle du lot témoin (Fig. 34).

À la suite de la seconde application, réalisée à J7, l'ensemble des concentrations testées atteint un taux de mortalité corrigée de 100%, lequel se maintient jusqu'à la fin de l'essai. Ces résultats suggèrent que la répétition du traitement renforce l'efficacité insecticide de la solution synergique, indépendamment de la concentration appliquée (Fig. 34).

Le témoin présente une évolution plus lente, avec une mortalité comprise entre 10 et 40% jusqu'au J7, avant d'atteindre les 100% à J11. Cette mortalité élevée dans le témoin impose toutefois de nuancer l'interprétation des résultats finaux. Néanmoins, les différences observées durant les premiers jours suggèrent que la solution synergique pourrait accélérer la mortalité des cochenilles par rapport aux extraits d'ortie et de fruit de savonnier utilisés séparément (Fig. 34).

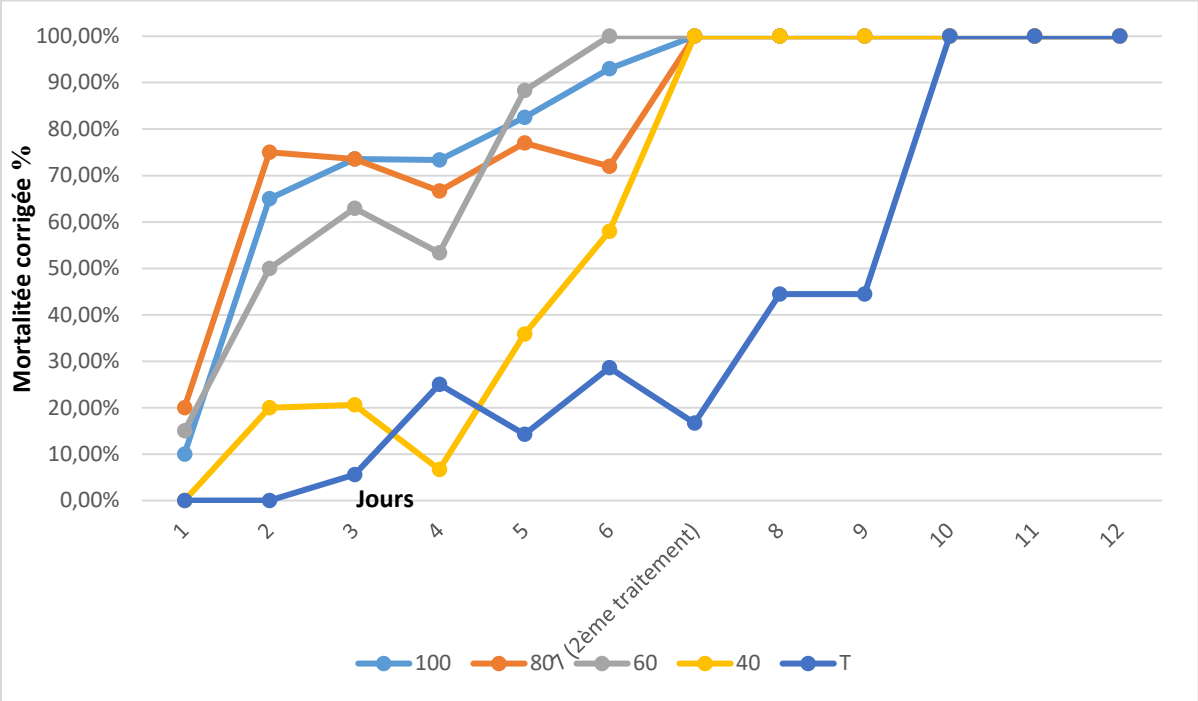


Figure 35 : Évolution temporelle de la mortalité corrigée des cochenilles traitées par différentes concentrations de la solution synergique

II.2.3.2. Détermination de la dose létale DL_{50} de la solution synergique sur les adultes femelles de *D. opuntiae*

La DL_{50} de la combinaison synergique des extraits d'ortie et du fruit de savonnier, estimé à 0,70 %, correspond à la concentration nécessaire pour provoquer la mortalité de 50 % des cochenilles exposées. Cette valeur intermédiaire entre celle de l'extrait d'ortie (0,33 %) et celle de l'extrait de savonnier (1,58 %) suggère que la combinaison présente une activité insecticide supérieure à celle du savonnier seul, mais inférieure à celle de l'ortie seule (Figure 35).

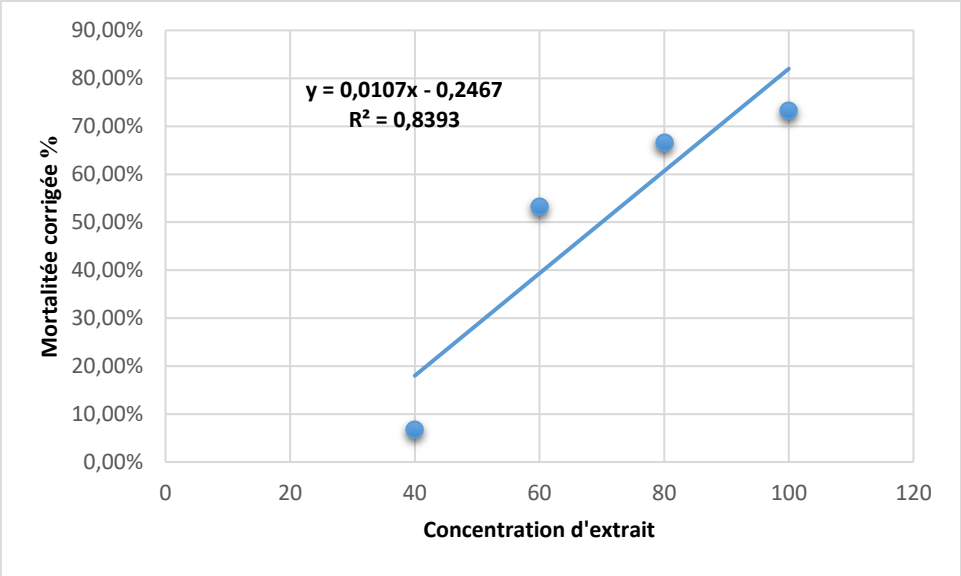


Figure 36 : Courbe linéaire des mortalités corrigées des cochenilles traitées par l'extrait synergique de fruit de savonnier et d'ortie

II.3 Action bioinsecticide des deux solutions vis-à-vis des œufs de *D. opuntiae* :

Au cours de l'expérimentation, la présence d'œufs a été observée dans les boîtes de Petri à la suite des premières applications des différentes solutions testées. Il convient de préciser que seuls des individus adultes de *D. opuntiae* ont été sélectionnés et introduits dans le dispositif expérimental. Aucun œuf n'a été préalablement déposé dans les boîtes de Petri. Ainsi, les œufs observés au cours de l'essai résultent de la ponte des femelles exposées aux différents traitements.

Après l'application des différents traitements, les premières observations ont révélé une variation de l'intensité de la ponte des cochenilles en fonction des doses appliquées (Fig. 36). En effet, les individus exposés aux doses les plus élevées ont présenté une ponte relativement importante, avec un nombre d'œufs compris entre 20 et 40, tandis que ceux soumis aux doses les plus faibles ont enregistré une ponte moins abondante, variant entre 5 et 15 œufs. Cette différence pourrait être liée à une réponse physiologique au stress induit par le traitement, traduisant éventuellement un mécanisme adaptatif ou de survie chez les cochenilles.

Cependant, malgré les observations répétées effectuées tout au long des 12 jours de suivi expérimental, aucune éclosion des œufs n'a été constatée, quelle que soit la dose appliquée. Cette absence totale d'éclosion suggère un effet potentiellement important du traitement sur la viabilité des œufs, notamment par une perturbation du développement embryonnaire ou une inhibition du processus d'éclosion. Ces résultats pourraient ainsi mettre en évidence un effet

ovicide du traitement, susceptible de contribuer à la réduction du potentiel reproducteur des cochenilles.

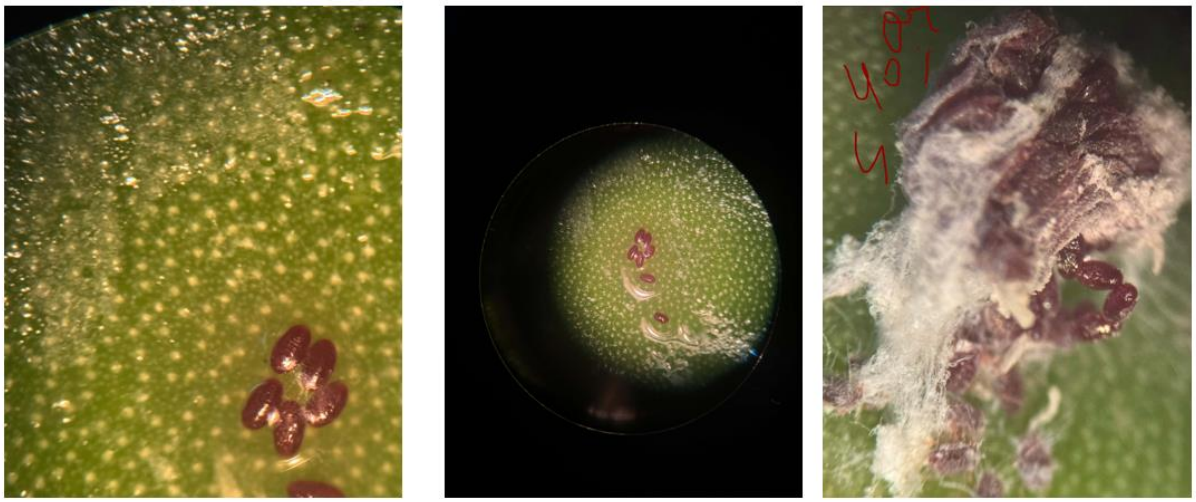


Figure 37 : Les œufs de la cochenille après l'application de traitement (Originale, 2026)

II.3 Discussion

Les résultats obtenus au cours de cette étude mettent en évidence une évolution de la mortalité des femelles de la cochenille du figuier de Barbarie (*Dactylopius opuntiae*) après l'application des extraits végétaux de *Urtica dioica* et de *Sapindus mukorossi*, ainsi que de leur association. Globalement, la mortalité augmente au cours du temps pour les différentes préparations, mais la vitesse d'apparition de l'effet varie selon le traitement et la concentration utilisée. Ces observations suggèrent que les extraits étudiés présentent un potentiel bioinsecticide qui mérite d'être approfondi

L'extrait de *U. dioica* a entraîné une augmentation progressive de la mortalité des cochenilles. Aux concentrations de 100% et de 80%, la mortalité était d'environ 20% durant les premiers jours, puis atteignait approximativement 30% aux 5^{e} et 6^{e} jours, avant d'augmenter fortement à partir du septième jour. Elle atteignait finalement 100% dès le onzième jour. Les concentrations de 60 % et de 40 % ont également provoqué une mortalité importante, avec une évolution différente. À 60 %, la mortalité atteignait environ 60 % au sixième jour, puis 75 % au septième jour, avant d'atteindre 100 % au douzième jour. À 40 %, elle atteignait environ 80 % dès le huitième jour et 100 % à partir du neuvième jour. Toutes les concentrations testées ont donc été associées à une mortalité importante. La concentration la plus élevée n'a cependant

pas systématiquement entraîné la mortalité totale la plus rapide, ce qui indique que la relation entre la concentration et la vitesse de mortalité n'est pas parfaitement régulière dans les conditions de cette expérience.

L'extrait de *Sapindus mukorossi* a également provoqué une augmentation de la mortalité, avec une évolution différente de celle observée avec *Urtica dioica*. À la concentration de 100 %, la mortalité atteignait environ 75 % dès le troisième jour, 90 % au cinquième jour et 100 % au septième jour. À 80 %, la mortalité progressait plus lentement au début, atteignant environ 45 % au sixième jour, avant de monter à 90 % entre le septième et le dixième jour et d'atteindre 100 % aux onzième et douzième jours. Pour les concentrations de 60 % et de 40 %, la mortalité totale était observée respectivement au septième et au huitième jour. Les différentes concentrations de *Sapindus mukorossi* ont ainsi été associées à une mortalité importante, avec des différences dans le délai nécessaire pour atteindre 100 %. La richesse connue des fruits de cette espèce en saponines constitue une piste pour expliquer leur intérêt biologique potentiel. En l'absence de caractérisation chimique de l'extrait utilisé, il n'est cependant pas possible d'attribuer directement la mortalité observée à ces composés, ni de préciser leur mécanisme d'action sur *D. opuntiae*.

L'association des deux extraits a présenté une évolution de la mortalité particulièrement rapide. À 100 %, la mortalité atteignait environ 65 % dès le deuxième jour, puis 95 % au sixième jour et 100 % au septième jour. À 80 %, elle atteignait environ 75 % dès le deuxième jour, avant d'atteindre 100 % au septième jour. À 60 %, la mortalité atteignait environ 90 % au cinquième jour et 100 % dès le sixième jour, tandis qu'à 40 %, elle atteignait environ 70 % au sixième jour et 100 % au septième jour. L'association a donc été suivie d'une mortalité importante dans un délai relativement court, notamment aux concentrations de 60 % et de 80 %, ce qui pourrait suggérer un intérêt de l'utilisation combinée des deux extraits. Une mortalité élevée après leur association ne suffit cependant pas, à elle seule, à démontrer l'existence d'un effet synergique. Pour le confirmer, il faudrait comparer l'effet combiné à celui attendu à partir des effets individuels de chaque extrait, selon une méthode d'analyse appropriée, avec des répétitions expérimentales et une analyse statistique.

La comparaison globale des trois préparations montre que la vitesse de mortalité varie selon l'extrait, la concentration et le moment de l'observation. À 60 %, l'association des deux extraits a atteint une mortalité totale au sixième jour, alors que les extraits individuels de *Urticadioica* et de *Sapindus mukorossi* l'ont atteint respectivement au douzième et au septième

jour. Cette différence est intéressante, mais elle doit être interprétée avec prudence. Les variations observées peuvent dépendre de la composition des extraits, de leur concentration réelle en substances actives, de la sensibilité des individus traités et des conditions d'application. Il est donc préférable de considérer ces résultats comme des indications d'un potentiel bioinsecticide plutôt que comme la preuve de la supériorité d'une préparation.

Le second traitement doit également être pris en compte. Pour la plupart des préparations, l'augmentation la plus marquée de la mortalité apparaît à partir du septième jour, c'est-à-dire juste après la seconde application. Cette coïncidence suggère un effet cumulatif des deux applications, sans qu'il soit possible de séparer la part de chacune. Elle est particulièrement nette avec *Urtica dioica* aux concentrations de 100 % et de 80 %, où la mortalité passe d'environ 30 % au sixième jour à environ 90 % au septième jour. Ce constat est cohérent avec l'observation d'œufs dans certaines boîtes traitées aux concentrations élevées, qui suggère que la première application n'a pas suffi à contrôler toutes les femelles. La présence éventuelle d'une couche cireuse protectrice chez cet insecte pourrait être envisagée comme un facteur limitant le contact entre le traitement et l'organisme, mais les observations disponibles ne permettent pas de confirmer cette hypothèse.

Les résultats peuvent être comparés à ceux rapportés par N'dyiae (2025), qui a étudié l'effet bioinsecticide d'un extrait hydroalcoolique de *Chrysanthemum coronarium* contre trois bioagresseurs, dont *D. opuntiae*. Dans cette étude, le test *in vitro* de concentrations de 5 à 50 % a révélé une efficacité dépendante de la dose, avec une DL50 de 21,76 % pour *D. opuntiae*, et les concentrations supérieures à 30 % ont provoqué une mortalité totale en 48 heures, alors que les doses plus faibles exigeaient une exposition plus prolongée. Dans la présente étude, la mortalité totale a également été atteinte à des concentrations élevées, mais plus tardivement (entre le sixième et le douzième jour), et la relation entre la dose et la vitesse d'action n'a pas été strictement régulière, notamment avec *Urtica dioica*.

L'évolution de la mortalité dans les témoins constitue un élément essentiel pour interpréter correctement les résultats. Dans les deux témoins, la mortalité augmentait progressivement au cours de l'expérience, atteignant environ 50 % dans le témoin positif et 30 % dans le témoin négatif au sixième jour. Aux jours 8 et 9, elle atteignait approximativement 75 % dans le témoin positif et 55 % dans le témoin négatif, puis 100 % dans les deux témoins aux jours 11 et 12. Cette mortalité élevée, particulièrement dans le témoin négatif, représente une limite importante de l'essai. Elle signifie qu'une partie de la mortalité observée dans les

lots traités pourrait être liée à d'autres facteurs, tels que les conditions de maintien des cochenilles sur les tranches de cladode, leur état physiologique. La mortalité corrigée a été calculée pour tenir compte de ce phénomène, mais sa fiabilité diminue à partir du dixième jour, car lorsque la mortalité du témoin approche ou atteint 100%, les valeurs corrigées tombent à zéro et ne reflètent plus l'effet réel des traitements. L'interprétation des résultats est donc plus solide jusqu'au dixième jour.

Par ailleurs, l'apparition d'œufs dans certaines boîtes ayant reçu les concentrations les plus élevées mérite d'être signalée. Elle indique que le traitement n'a pas nécessairement empêché toutes les femelles de pondre.

Cette étude met en évidence un potentiel bioinsecticide des extraits de *Urtica dioica* et de *Sapindus mukorossi*, utilisés individuellement ou en association, à l'égard de *Dactylopius opuntiae*. Les trois préparations ont été associées à une augmentation de la mortalité, avec des différences dans la vitesse d'action selon les concentrations et les jours d'observation. L'association des deux extraits a notamment présenté une mortalité totale plus précoce pour certaines concentrations. La mortalité importante enregistrée dans les témoins limite cependant la possibilité d'attribuer avec certitude les résultats aux seuls traitements. Des essais complémentaires, comprenant des répétitions suffisantes seront donc nécessaires pour confirmer l'efficacité des différents extraits étudiés.

Conclusion générale et perspective

Le figuier de Barbarie "*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill." constitue une ressource végétale présentant un intérêt agronomique, écologique et économique, particulièrement dans les régions arides et semi-arides. Toutefois, son développement est confronté à des contraintes phytosanitaires importantes, notamment les infestations provoquées par la cochenille *Dactylopius opuntiae*, dont les dégâts peuvent entraîner l'affaiblissement et la mortalité des plantes. Dans ce contexte, la recherche de solutions alternatives ou complémentaires aux méthodes conventionnelles de lutte représente un enjeu important pour la préservation de cette culture.

Le présent travail a pour objectif d'évaluer le potentiel bioinsecticide des préparations à base d'ortie dioïque (*U. dioica* L.) et de fruit du savonnier (*Sapindus mukorossi*), appliquées individuellement ou en association, vis-à-vis des femelles de *Dactylopius opuntiae*. À cet effet, différentes concentrations (40%, 60%, 80% et 100%) ont été testées afin d'étudier leur efficacité insecticide. L'évaluation a reposé sur le suivi de l'évolution de la mortalité des femelles au cours de la période expérimentale, en tenant également compte de l'effet d'une seconde application des traitements.

Les résultats obtenus montrent que les trois préparations étudiées ont été associées à une augmentation de la mortalité des cochenilles, avec des différences dans la vitesse d'action selon la nature de la préparation, la concentration appliquée et la durée d'exposition. L'extrait d'*U. dioica* a entraîné une mortalité totale à des délais variables, allant du neuvième au douzième jour selon la concentration. Pour *Sapindus mukorossi*, la mortalité totale a été observée entre le septième et le douzième jour. L'association des deux extraits a présenté une action plus rapide dans les conditions de l'essai, avec une mortalité totale observée entre le sixième et le septième jour selon la concentration.

Ces observations suggèrent que les préparations végétales étudiées présentent un potentiel bioinsecticide intéressant à l'égard de *D. opuntiae*. L'association des deux extraits mérite notamment d'être approfondie, compte tenu de la rapidité de mortalité observée pour certaines concentrations. Toutefois, ces résultats ne permettent pas de conclure définitivement à la supériorité de cette association ni de démontrer l'existence d'un effet synergique entre les deux extraits.

En effet, l'interprétation des résultats doit tenir compte d'une limite expérimentale majeure. La mortalité enregistrée dans les lots témoins a progressivement augmenté jusqu'à atteindre 100% aux derniers jours de l'essai.

La ponte observée chez les femelles traitées, notamment celles exposées aux doses les plus élevées, pourrait traduire une réponse adaptative au stress induit par le traitement. Cette réponse pourrait favoriser la reproduction et contribuer au maintien de la population, en assurant la production d'une nouvelle génération susceptible de compenser la mortalité des individus adultes.

Afin de confirmer les observations obtenues, il serait important de réaliser de nouveaux essais afin de tester l'effet des traitements sur la ponte. Il serait également pertinent d'étudier un plus large éventail de concentrations, de préciser la composition des extraits utilisés et de déterminer les substances susceptibles de contribuer à l'activité observée. Enfin, l'évaluation séparée de la survie des femelles, de la ponte et de l'éclosion des œufs permettrait de mieux caractériser les effets éventuels de ces préparations sur le cycle biologique du ravageur.

En perspective, des essais complémentaires en conditions semi-contrôlées puis au champ seraient indispensables pour évaluer la reproductibilité de l'activité observée, la persistance des effets, les doses d'application appropriées ainsi que les éventuels effets sur les organismes non ciblés. Ces investigations permettraient de déterminer si les préparations à base d'*U. dioica* et de *Sapindus mukorossi* peuvent être intégrées dans une stratégie de lutte intégrée contre *Dactylopius opuntiae*.

En conclusion, cette étude constitue une première approche expérimentale de l'évaluation de deux ressources végétales dans la gestion de la cochenille du figuier de Barbarie. Malgré les limites identifiées, les résultats obtenus justifient la poursuite des recherches sur leur potentiel bioinsecticide. Une validation expérimentale plus approfondie demeure toutefois indispensable avant d'envisager leur utilisation comme méthode de lutte opérationnelle.

Références bibliographiques

- Anderson, E. F. (2001). The cactus family. Timber Press.
- Angiosperm Phylogeny Group. (2003). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. Botanical Journal of the Linnean Society, 141(4), 399–436. https://doi.org/10.1046/j.1095-8339.2003.t01-1-00158.x
- Arba et al. (2000). In : Boujchagh, L. & Chajia, L. (2001). Le cactus : outil de gestion de la sécheresse dans le sud marocain. Terre et Vie, 52, 1–7.
- Arba, M. (2009). Le cactus Opuntia, une espèce fruitière et fourragère pour une agriculture durable au Maroc. Dans les actes du symposium international « AGDUMED », Rabat, Maroc, p. 215–223.
- Arba, M., Falisse, A., Choukr-Allah, R., & Sindic, M. (2017). Biology, flowering and fruiting of the cactus Opuntia spp.: A review and some observations on three varieties in Morocco. Brazilian Archives of Biology and Technology, 60.
- Arias, E., Reynolds, S. G., & Sánchez, M. D. (dir.). (2003). El nopal (Opuntia spp.) como forraje. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal, n° 169. Rome : FAO.
- Bacci, L., Baronti, S., Predieri, S., & di Virgilio, N. (2009). Fiber yield and quality of fiber nettle (Urtica dioica L.) cultivated in Italy. Industrial Crops and Products, 29, 480–484.
- Barbera et al. (1992). In : Mulas, M. & Mulas, G. (2004). Potentialités d'utilisation stratégique des plantes des genres Atriplex et Opuntia dans la lutte contre la désertification. Université des études de Sassari, Groupe de recherche sur la désertification, SMAP, 112 p.
- Barbera, G., Carimi, F., & Inglese, P. (1992). Past and present role of the Indian-fig prickly-pear (Opuntia ficus-indica (L.) Miller, Cactaceae) in the agriculture of Sicily. Economic Botany, 46(1), 10–20. https://doi.org/10.1007/BF02985249
- Barbera, G., Inglese, P., & Pimienta-Barrios, E. (Eds.). (1995). Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO Plant Production and Protection Paper 132. FAO.
- Barthlott, W., & Hunt, D. R. (1993). Cactaceae. In K. Kubitzki (Ed.), The families and genera of vascular plants (Vol. 2). Springer.
- Bisset, N. G., & Wichtl, M. (2004). Herbal drugs and phytopharmaceuticals. CRC Press.

- Borland, A. M., Griffiths, H., Hartwell, J., & Smith, J. A. C. (2009). Exploiting the potential of plants with crassulacean acid metabolism for bioenergy production on marginal lands. Journal of Experimental Botany, 60(10), 2879–2896.
- Bravo-Hollis, H. (1978). Las cactáceas de México. UNAM.
- Broster, P. (2014). *Prickly Pear Cactus (Opuntia ficus-indica)* [Photographie]. Wikimedia Commons. Licence Creative Commons CC BY 2.0.
- Cushman, J. C., & Bohnert, H. J. (1999). Crassulacean acid metabolism: Molecular genetics. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 50, 305–332.
- De Kock, G. C. (1983). In : Mulas, M. & Mulas, G. (2004). Potentialités d'utilisation stratégique des plantes des genres Atriplex et Opuntia dans la lutte contre la désertification. Université des études de Sassari, SMAP, 112 p.
- De Lotto, G. (1974). On the status and identity of the cochineal insects (Homoptera: Coccoidea: Dactylopiidae). Journal of the Entomological Society of Southern Africa, 37, 167–193.
- Di Virgilio, N., Papazoglou, E. G., Jankauskiene, Z., et al. (2015). The potential of stinging nettle (Urtica dioica L.) as a crop with multiple uses. Industrial Crops and Products, 68, 42–49.
- Eisner, T., Nowicki, S., Goetz, M., & Meinwald, J. (1980). Red cochineal dye (carminic acid): Its role in nature. Science, 208, 1039–1042.
- El Bouhissi, M., Ghefar, M., Sadine, S. E., & Gachi, M. (2022). Note sur la présence de Dactylopius opuntiae (Cockerell, 1896) sur le figuier de Barbarie en Algérie (Hemiptera : Dactylopiidae). Annales de la Recherche Forestière en Algérie, 12(1), 1–6. https://asjp.cerist.dz/en/article/182825
- El Kossori, R. L., Villaume, C., El Boustani, E., Sauvaire, Y., & Méjean, L. (1998). Composition of pulp, skin and seeds of prickly pears fruit. Plant Foods for Human Nutrition, 52, 263–270.
- Ennouri, M., Evelyne, B., Laurence, M., & Hamadi, A. (2005). Fatty acid composition and rheological behaviour of prickly pear seed oils. Food Chemistry, 93, 431–437.
- Felker, P., & Inglese, P. (2003). Short-term and long-term research needs for Opuntia ficus-indica utilization in arid areas. Journal of the Professional Association for Cactus Development, 5, 131–152.

- Feugang, J. M., Konarski, P., Zou, D., Stintzing, F. C., & Zou, C. (2006). Nutritional and medicinal use of cactus pear cladodes and fruits. Frontiers in Bioscience, 11, 2574–2589.
- Francis, G., Kerem, Z., Makkar, H. P. S., & Becker, K. (2002). The biological action of saponins in animal systems: A review. British Journal of Nutrition, 88(6), 587–605. https://doi.org/10.1079/BJN2002725
- Gibson, A. C., & Nobel, P. S. (1986). The cactus primer. Harvard University Press. https://doi.org/10.4159/harvard.9780674281714
- Goldstein, G., & Nobel, P. S. (1991). Changes in osmotic pressure and mucilage during low-temperature acclimation of Opuntia ficus-indica. Plant Physiology, 97(3), 954–961. https://doi.org/10.1104/pp.97.3.954
- Grime, J. P., Hodgson, J. G., & Hunt, R. (2007). Comparative plant ecology. Castlewood Press.
- Hernández-Urbiola, M. I., Pérez-Torrero, E., & Rodríguez-García, M. E. (2011). Chemical analysis of nutritional content of prickly pads (Opuntia ficus-indica) at varied ages in an organic harvest. International Journal of Environmental Research and Public Health, 8(5), 1287–1295. https://doi.org/10.3390/ijerph8051287
- Inglese, P., Basile, F., & Schirra, M. (2002). Cactus pear fruit production. In P. S. Nobel (Ed.), Cacti: Biology and uses. University of California Press.
- Inglese, P., Mondragon, C., Nefzaoui, A., Sáenz, C., Taguchi, M., Makkar, H. P. S., & Louhaichi, M. (2017). Crop ecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO. https://hdl.handle.net/20.500.11766/8263
- IUPAC. (2025). Median lethal dose. In IUPAC Compendium of Chemical Terminology (Gold Book), 5e éd., version en ligne 5.0.0. https://doi.org/10.1351/goldbook.M03810
- Kabas, O., Ozmerzi, A., & Akinci, I. (2006). Physical properties of cactus pear (Opuntia ficus-indica L.) grown wild in Turkey. Journal of Food Engineering, 73(2), 198–202. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.01.016
- Kavalali, G. (Ed.). (2003). Urtica: Therapeutic and nutritional aspects of stinging nettles. Taylor & Francis.
- Kiesling, R. (1999). Origen, domesticación y distribución de Opuntia ficus-indica. Journal of the Professional Association for Cactus Development, 3, 50–59.
- Kuti, J. O. (2004). Antioxidant compounds from four Opuntia cactus pear fruit varieties. Food Chemistry, 85, 527–533.

- Lahsasni, S., Kouhila, M., Mahrouz, M., & Jaouhari, J. T. (2004). Drying kinetics of prickly pear fruit (Opuntia ficus-indica). Journal of Food Engineering, 61, 173–179.
- Le Houérou, H. N. (1996). The role of cacti (Opuntia spp.) in erosion control, land reclamation, rehabilitation and agricultural development in the Mediterranean Basin. Journal of Arid Environments, 33(2), 135–159.
- Lüttge, U. (2004). Ecophysiology of Crassulacean Acid Metabolism (CAM). Annals of Botany, 93, 629–652.
- Mann, J. (1969). Cactus-feeding insects and mites. US National Museum Bulletin 256.
- Mizrahi, Y., Nerd, A., & Nobel, P. S. (1997). Cacti as crops. Horticultural Reviews, 18, 291–319.
- Mondragón-Jacobo, C., & Pérez-González, S. (Eds.). (2001). Cactus (Opuntia spp.) as forage. FAO Plant Production and Protection Paper 169. FAO.
- Moßhammer, M. R., Stintzing, F. C., & Carle, R. (2006). Cactus pear fruits (Opuntia spp.): A review of processing technologies and current uses. Journal of the Professional Association for Cactus Development, 8, 1–25. https://doi.org/10.56890/jpacd.v8i.274
- Moßhammer, M. R., Stintzing, F. C., & Carle, R. (2006). Evaluation of different methods for production of juice concentrates and fruit powders from cactus pear. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 7, 275–287.
- N'dyiae, O. A. (2025). Évaluation de l'effet bioinsecticide de l'extrait hydroalcoolique de Chrysanthemum coronarium sur trois bioagresseurs : Aphis spiraecola, Aphis fabae et Dactylopius opuntiae. Mémoire de fin d'études, Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem. https://e-biblio.univ-mosta.dz/items/efa440cf-d9d1-461e-91b4-4983c2b39257
- Nefzaoui, A., & Ben Salem, H. (2001). Opuntia: A strategic fodder and efficient tool to combat desertification in the WANA region. In C. Mondragón-Jacobo & S. Pérez-González (Eds.), Cactus (Opuntia spp.) as forage. FAO Plant Production and Protection Paper 169.
- Nerd et al. (1991). In : Habibi, Y. (2004). Contribution à l'étude morphologique, ultra-structurale et chimique de la figue de Barbarie, les polysaccharides pariétaux : caractérisation et modifications chimiques. Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier (Grenoble I) et Université Cadi Ayyad (Semlalia, Marrakech).

- Nerd, A., & Mizrahi, Y. (1994). Effect of nitrogen fertilization and organ removal on rebudding in Opuntia ficus-indica (L.) Miller. Scientia Horticulturae, 59(2), 115–122. https://doi.org/10.1016/0304-4238(94)90078-7
- Nerd, A., & Mizrahi, Y. (1997). Reproductive biology of cactus fruit crops. Horticultural Reviews, 18, 321–346.
- Nobel, P. S. (1982). Low-temperature tolerance and cold hardening of cacti. Ecology, 63, 1650–1656.
- Nobel, P. S. (1988). Environmental biology of agaves and cacti. Cambridge University Press.
- Nobel, P. S. (1994). Remarkable agaves and cacti. Oxford University Press.
- Nobel, P. S. (1996). Responses of some North American CAM plants to freezing temperatures and doubled CO_2 concentrations: Implications of global climate change for extending cultivation. Journal of Arid Environments, 34, 187–196.
- Nobel, P. S. (Ed.). (2002). Cacti: Biology and uses. University of California Press.
- Nobel, P. S., & Bobich, E. G. (2002). Environmental biology. In P. S. Nobel (Ed.), Cacti: Biology and uses. University of California Press.
- Orwa, C., Mutua, A., Kindt, R., Jamnadass, R., & Simons, A. (2009). Agroforestree database: A tree reference and selection guide (Version 4.0). World Agroforestry Centre. https://www.worldagroforestry.org/output/agroforestree-database
- Osmond, C. B. (1978). Crassulacean acid metabolism: A curiosity in context. Annual Review of Plant Physiology, 29, 379–414.
- Parietaria officinalis L. – Pariétaire officinale. Photographies : M. Gregori.
- Piga, A. (2004). Cactus pear: A fruit of nutraceutical and functional importance. Journal of the Professional Association for Cactus Development, 6, 9–22.
- Pimienta-Barrios, E. (1990). El nopal tunero. Universidad de Guadalajara.
- Plants of the World Online. (2024). Urtica dioica L. Royal Botanic Gardens, Kew. https://powo.science.kew.org/taxon/260630-2
- Pollard, A. J., & Briggs, D. (1982). Genecological studies of Urtica dioica L. I. The nature of intraspecific variation. New Phytologist, 92, 453–470.
- Ramadan, M. F., & Mörsel, J. T. (2003). Oil cactus pear (Opuntia ficus-indica L.). Food Chemistry, 82, 339–345.
- Reyes-Aguero, J. A., Aguirre, J. R., & Valiente-Banuet, A. (2006). Reproductive biology of Opuntia: A review. Journal of Arid Environments, 64, 549–585.

- Russell, C. E., & Felker, P. (1987). The prickly-pears (Opuntia spp., Cactaceae): A source of human and animal food in semiarid regions. Economic Botany, 41, 433–445.
- Saleem, M., Kim, H. J., Han, C. K., Jin, C., & Lee, Y. S. (2006). Secondary metabolites from Opuntia ficus-indica var. saboten. Phytochemistry, 67, 1390–1394. https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2006.04.009
- Sawaya, W. N., & Khan, P. (1982). Chemical characterization of prickly pear seed oil. Journal of Food Science, 47, 2060–2061.
- Scheinvar, L. (1995). Taxonomy of utilized opuntias. In G. Barbera, P. Inglese, & E. Pimienta-Barrios (Eds.), Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO Paper 132.
- Skiredj, A., Walali, D. M. L., & El Attis, H. (1998). Le figuier de Barbarie (Opuntia ficus-indica). Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat.
- Snyman, H. A. (2006). A greenhouse study of root dynamics of cactus pears, Opuntia ficus-indica and O. robusta. Journal of Arid Environments, 65, 529–542.
- Šrůtek, M., & Teckelmann, M. (1998). Review of biology and ecology of Urtica dioica. Preslia, 70, 1–19.
- Stintzing, F. C., & Carle, R. (2005). Cactus stems (Opuntia spp.): A review on their chemistry, technology, and uses. Molecular Nutrition & Food Research, 49(2), 175–194. https://doi.org/10.1002/mnfr.200400071
- Stintzing, F. C., Schieber, A., & Carle, R. (2001). Phytochemical and nutritional significance of cactus pear. European Food Research and Technology, 212, 396–407.
- Sudzuki Hills, F. (1995). Anatomy and morphology. In G. Barbera, P. Inglese, & E. Pimienta-Barrios (Eds.), Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO Paper 132.
- Taylor, K. (2009). Biological flora of the British Isles: Urtica dioica L. Journal of Ecology, 97, 1436–1458.
- Thurston, E. L. (1974). Morphology, fine structure and ontogeny of the stinging emergence of Urtica dioica. American Journal of Botany, 61, 809–817.
- Ting, I. P. (1985). Crassulacean acid metabolism. Annual Review of Plant Physiology, 36, 595–622.
- Torres, J. B., & Giorgi, J. A. (2018). Management of the false carmine cochineal Dactylopius opuntiae (Cockerell): Perspective from Pernambuco State, Brazil. Phytoparasitica, 46(3), 331–340. https://doi.org/10.1007/s12600-018-0664-8

- Upadhyay, A., & Singh, D. K. (2012). Pharmacological effects of Sapindus mukorossi. Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo, 54(5), 273–280. https://doi.org/10.1590/S0036-46652012000500007
- Upton, R. (2013). Stinging nettles leaf (Urtica dioica L.): Extraordinary vegetable medicine. Journal of Herbal Medicine, 3, 9–38.
- Vanegas-Rico, J. M., Lomelí-Flores, J. R., Rodríguez-Leyva, E., & Mora-Aguilera, G. (2010). Natural enemies of Dactylopius opuntiae (Cockerell) on Opuntia ficus-indica (L.) Miller in central Mexico. Acta Zoológica Mexicana (nueva serie), 26(2), 415–433. https://doi.org/10.21829/azm.2010.262718
- Winter, K., & Smith, J. A. C. (Eds.). (1996). Crassulacean acid metabolism: Biochemistry, ecophysiology and evolution. Springer.

Annexes

TABLEAU DE MORTALITE CUUMMULE ET CORIGE DU ORTIE 100%

	JOURS	M,cummulé	M,corrigé
	1	20%	20,00%
	2	20%	20%
	3	20%	15,29%
	4	30%	6,66%
	5	30%	18,32%
	6	30%	1,41%
2eme traitement	7	90%	88%
	8	90%	82%
	9	90%	82%
	10	90%	100%
	11	100%	100%
	12	100%	100%

TABLEAU DE MORTALITE CUUMMULE ET CORIGE DU ORTIE 80%

	JOURS	M,cummulé	M,corrigé
	1	15%	15,00%
	2	40%	40%
	3	50%	44,44%
	4	55%	40,00%
	5	60%	53,33%
	6	60%	43,66%
2eme traitement	7	75%	70%
	8	90%	82%
	9	95%	91%
	10	95%	100%
	11	100%	100%
	12	100%	100%

TABLEAU DE MORTALITE CUUMMULE ET CORIGE DU ORTIE 60%

	JOURS	M,cummulé	M,corrigé
	1	5%	5,00%
	2	25%	25%
	3	25%	20,58%
	4	35%	13,33%
	5	40%	30,00%
	6	60%	43,66%
2eme traitement	7	75%	70%
	8	75%	55%
	9	80%	64%
	10	80%	100%
	11	90%	100%
	12	100%	100%

TABLEAU DE MORTALITE CUUMMULE ET CORIGE DU ORTIE 40%

	JOURS	M,cummulé	M,corrigé
	1	15%	15,00%
	2	25%	25%
	3	35%	31,17%
	4	40%	20,00%
	5	40%	30,00%
	6	45%	22,53%
2eme traitement	7	60%	52%
	8	80%	64%
	9	100%	100%
	10	100%	100%
	11	100%	100%
	12	100%	100%

TABLEAU DE MORTALITE CUMULE ET CORRIGE DU F.S 100%

	JOURS	M,cummulé	M,corrigé
	1	20%	20,00%
	2	40%	40%
	3	75%	73,53%
	4	75%	66,66%
	5	90%	88,33%
	6	95%	93%
2eme traitement	7	100%	100%
	8	100%	100%
	9	100%	100%
	10	100%	100%
	11	100%	100%
	12	100%	100%

TABLEAU DE MORTALITE CUMULE ET CORRIGE DU F.S 80%

	JOURS	M,cummulé	M,corrigé
	1	20%	20,00%
	2	35%	35%
	3	35%	31,17%
	4	35%	13,33%
	5	35%	24,16%
	6	45%	23%
2eme traitement	7	90%	88%
	8	90%	82%
	9	90%	82%
	10	90%	100%
	11	100%	100%
	12	100%	100%

TABLEAU DE MORTALITE CUMULE ET CORRIGE DU F.S 60%

	JOURS	M,cummulé	M,corrigé
	1	10%	10,00%
	2	25%	25%
	3	25%	20,58%
	4	25%	25,00%
	5	35%	24,16%
	6	65%	51%
2eme traitement	7	100%	100%
	8	100%	100%
	9	100%	100%
	10	100%	100%
	11	100%	100%
	12	100%	100%

TABLEAU DE MORTALITE CUMULE ET CORRIGE DU F.S 40%

	JOURS	M,cummulé	M,corrigé
	1	15%	15,00%
	2	30%	30%
	3	55%	52,35%
	4	60%	46,66%
	5	60%	53,33%
	6	65%	51%
2eme traitement	7	80%	76%
	8	100%	100%
	9	100%	100%
	10	100%	100%
	11	100%	100%
	12	100%	100%

TABLEAU DE MORTALITE CUMULE ET CORRIGE DU SYNERGIE 100%

	JOURS	M,cummulé	M,corrigé
	1	10%	10,00%
	2	65%	65%
	3	75%	73,53%
	4	80%	73,33%
	5	85%	82,49%
	6	95%	93%
2eme traitement	7	100%	100%
	8	100%	100%
	9	100%	100%
	10	100%	100%
	11	100%	100%
	12	100%	100%

TABLEAU DE MORTALITE CUMULE ET CORRIGE DU SYNERGIE 80%

	JOURS	M,cummulé	M,corrigé
	1	20%	20,00%
	2	75%	75%
	3	75%	73,53%
	4	75%	66,66%
	5	80%	77%
	6	80%	72%
2eme traitement	7	100%	100%
	8	100%	100%
	9	100%	100%
	10	100%	100%
	11	100%	100%
	12	100%	100%

TABLEAU DE MORTALITE CUMULE ET CORRIGE DU SYNERGIE 60%

	JOURS	M,cummulé	M,corrigé
	1	15%	15,00%
	2	50%	50%
	3	65%	62,94%
	4	65%	53,33%
	5	90%	88,33%
	6	100%	100%
2eme traitement	7	100%	100%
	8	100%	100%
	9	100%	100%
	10	100%	100%
	11	100%	100%
	12	100%	100%

TABLEAU DE MORTALITE CUMULE ET CORRIGE DU SYNERGIE 40%

	JOURS	M,cummulé	M,corrigé
	1	0%	0%
	2	20%	20%
	3	25%	20,58%
	4	30%	6,66%
	5	45%	35,83%
	6	70%	58%
2eme traitement	7	100%	100%
	8	100%	100%
	9	100%	100%
	10	100%	100%
	11	100%	100%
	12	100%	100%