

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET  
POPULAIRE



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA

École Nationale Supérieure Agronomique

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة

Département : Zoologie Agricole et Forestière

القسم: علم الحيوان الزراعي والغابي

Spécialité : Zoologie agricole et forestière :  
Entomologie

التخصص: علم الحيوان الزراعي والغابي: علم الحشرات

Mémoire de fin d'étude

Pour l'Obtention Du Master en science agronomique

Thème

**La cochenille invasive *Dactylopius opuntiae* : de la caractérisation  
moléculaire et phylogénétique à l'élaboration d'une application  
numérique de sa surveillance en Algérie**

Présenté par : M<sup>elle</sup> Guellil Sounia Djoher

Soutenu le : 05 /10/2025

M<sup>elle</sup> Khaldi Alae Setti

Devant le jury

Président :	M. Benzehra Abdelmajid.	Professeur, ENSA
Promoteur :	M. Boukraa Slimane.	MCB, ENSA
Co-Promoteur:	M. Beyoud Smail.	Directeur en chef en IA, EINS Tech
Examineurs :	M. Biche Mohammed.	Professeur, ENSA
	M. Chakali Gahdab.	Professeur, ENSA
	M <sup>me</sup> Nechar Manel.	MCA, Incubateur- ENSA
	M. Abdellahoum Zakaria.	MCB, ENSA
Invité :	M. Mahdeb Amokrane.	Chercheur INRAA Bejaia-Oued-Ghir

Promotion : 2020/2025

## TABLE DES MATIERES

<b>Introduction générale</b> .....	
<b>Chapitre I : Données bibliographiques sur le figuier de barbarien <i>Opuntiae ssp</i> et la cochenille <i>Dactylopius opuntiae</i></b>	
<b>I.1. Fiquier de barbarie <i>Opuntiae ssp</i></b> .....	03
<b>I.1.1. Généralités sur <i>Opuntiae ssp</i></b> .....	03
<b>I.1.2. Aspect historique</b> .....	04
<b>I.1.3. Classification systématique</b> .....	05
<b>I.1.4. Biologie de figuier de barbrie</b> .....	05
<b>I.1.5. Caractéristiques morphologiques et diversité de figuier de barbarie</b> .....	07
<b>I.1.6. Distribution dans le monde et en Afrique du nord</b> .....	14
<b>I.1.7. Diversité variétale en Algérie</b> .....	16
<b>I.1.8. Valorisation de figuier de barbarie</b> .....	20
<b>I.1.9. Aspect sociologique et anthropologique</b> .....	26
<b>I.1.10. Problèmes phytosanitaires</b> .....	27
<b>I.1.10.1 Maladies</b> .....	27
<b>I.1.10.2 Ravageurs</b> .....	30
<b>I.2. <i>Dactylopius opuntiae</i></b> .....	32
<b>I.2.1. Généralités sur le ravageur <i>Dactylopius opuntiae</i></b> .....	32
<b>I.2.2. Systématique</b> .....	34
<b>I.2.3. Description et Morphologie</b> .....	35
<b>I.2.4. Origine et distribution</b> .....	36
<b>I.2.5. Bio-écologie du ravageur</b> .....	37
<b>I.2.5.1. Cycle biologique</b> .....	37
<b>I.2.5.2. Ethologie et comportemen</b> .....	39
<b>I.2.5.3. Dégâts et symptômes</b> .....	40
<b>I.2.5.3.1. Les dégâts causés par <i>Dactylopius opuntiae</i></b> .....	40
<b>I.2.5.3.2. Symptômes d'attaque de <i>Dactylopius opuntiae</i></b> .....	41
<b>I.2.6. Utilisation et valorisation de la cochenille</b> .....	42
<b>I.2.7. Moyens de lutte</b> .....	43
<b>I.2.7.1. Méthodes physiques</b> .....	43
<b>I.2.7.2. Méthodes chimiques</b> .....	44
<b>I.2.7.3. Méthodes de lutte biologique</b> .....	44
<b>I.2.7.4. Gestion variétale</b> .....	47
<b>Chapitre II : Matériels et méthodes</b>	
<b>II.1. Objectifs de l'étude</b> .....	49
<b>II.2 Description de la région et stations d'études</b> .....	49
<b>II.2.1. Localisation géographique de la région d'étude</b> .....	49
<b>II.2.2. Données climatiques</b> .....	50
<b>II.2.2.1. Températures moyenne à Ain Témouchent</b> .....	51
<b>II.2.2.2. précipitation</b> .....	51
<b>II.2.2.3. Humidité</b> .....	52
<b>II.2.2.4. Vent</b> .....	52
<b>II.2.3. Diagramme ombrothermique de Banouls et Gausсен</b> .....	52
<b>II.2.4. Le quotient pluviothermique d'Emberger</b> .....	53
<b>II.2.5. Description des stations d'études</b> .....	55
<b>II.2.5.1. La première station Ain Témouchent (Ferme Lalla maghnia )</b> .....	56
<b>II.2.5.2. Deuxième station : Ain Tolba (Ferme Ain sidi slimane )</b> .....	57

II.2.5.3. Troisième station : El Baradj.....	58
II.3. Échantillonnage et méthodes de captures.....	59
II.3.1. Assiettes jaunes.....	59
II.3.2. Pièges collants (pièges angulés).....	61
II.3.3. Tri et conservation des échantillons.....	62
II.4. Observation microscopique... ..	63
II.4.1. Microscope optique.....	63
II.4.2. Microscope électronique à balayage.....	65
II.5. Étude moléculaire de <i>Dactylopius opuntiae</i> .....	66
II.5.1. Extraction d'ADN génomique.....	67
II.5.2. Identification par PCR de <i>D. opuntiae</i> .....	68
II.5.2.1. Préparation du mix... ..	69
II.5.2.2. Programmation de thermocycleur.....	70
II.5.2.3. Lecture des résultats PCR.....	71
II.5.2.4. Purification des produits PCR pour le séquençage.....	74
II.5.3. Séquençage moléculaire.....	74
II.5.4. Étude phylogénétique.....	76
II.6. Test de tolérance et de résistance variétale... ..	76
II.6.1. Variétés sélectionnées pour les tests de résistance/tolérance.....	76
II.6.2. Mise en culture et entretien des variétés sélectionnées.....	78
II.6.3. Protocole d'infection expérimentale.....	79
II.7. Élaboration d'une application numérique de surveillance.....	81
II.7.1. Objectif de l'application... ..	81
II.7.2. Questionnaire pour la collecte de Data.....	82
II.7.3. Construction du modèle intelligent, traitement et analyse des données.....	84
II.7.3.1. Traitement des images.....	84
II.7.3.2. Technologies intégrées dans le système.....	88
II.7.4. Architecture du système.....	89
II.7.5. Système de gestion des données.....	90
II.7.6. Éléments de la solution de surveillance (version bureau).....	93
II.7.7. Mise en œuvre de la technologie GNSS.....	93
II.7.7.1. Géolocalisation et Représentation graphique : GNSS vs GPS.....	94
II.7.8. Mise en œuvre de l'application mobile... ..	94
II.7.9. Évaluation et suivi des performances du modèle de classification... ..	95
II.8. Business Model Canva (BMC).....	98
II.9. Analyses statistique et traitement des données.....	99
<b>Chapitre III : Résultats et discussions</b>	
III.1. Résultats d'Observation microscopique de la cire de <i>Dactylopius opuntiae</i> .....	100
III.1.1. Observation de la cochenille par loupe et par microscope optique.....	100
III.1.2. Observation de la cochenille par microscope électronique à balayage (MEB).....	101
III.1.2.1. Observation de la cochenille femelle.....	102
III.1.2.2. Observation de la cochenille mâle.....	103
III.1.2.3. Observation de la cire protectrice.....	104
III.2. Identification moléculaire de <i>Dactylopius opuntiae</i> .....	106
III.2.1. Extraction d'ADN.....	106
III.2.2. Amplification par PCR des gènes.....	106
III.2.2.1. Résultats sur gel d'agarose du gène 12S.....	107
III.2.2.2. Résultats sur gel d'agarose du gène 18S.....	108
III.2.2.3. Résultats sur gel d'agarose du gène COI.....	109
III.2.3. Analyse bio-informatique des séquences obtenues par BLAST.....	109

III.2.3.1. Analyse bio-informatique des séquences de 12S .....	110
III.2.3.2. Analyse bio-informatique des séquences 18S.....	113
III.2.3.3. Analyse bio-informatique des séquences COI .....	116
III.3. Caractérisation préliminaire de la faune associée à <i>Dactylopius opuntiae</i> .....	120
III.4. Résultats des tests de tolérance .....	121
III.5. Résultats de la Surveillance par ISS-Analytics (Insect Surveillance Solution) de <i>Dactylopius opuntiae</i> .....	134
III.5.1. Performance du modèle (métriques) et ajustement fin .....	134
III.5.2. Exploitation de données obtenues suite aux entrainements du modèle .....	136
III.5.2.1. Exploitation des données obtenues à partir du premier suivi (9 juin 2025-38images) .....	136
III.5.2.1.1. Evaluation du modèle – Résultats sur le 1er lot d’images (9 juin 2025 -38images) .....	138
III.5.2.2. Exploitation des données obtenues à partir du deuxième suivi (18 juillet2025- 98images) .....	142
III.5.2.3. Exploitation des données obtenues à partir du troisième suivi (18 juillet 2025 - Robustesse et augmentation de données).....	144
III.5.2.3.1. Evaluation du modèle – Résultats sur le 3eme lot d’images (18juillet 2025- Data augmentation).....	147
III.5.2.4. Exploitation des données obtenues à partir du quatrième suivi (08 Aout 2025- Région : Ouest /Centre et Est du pays + 150 Images).....	149
III.5.2.4.1. Evaluation du modèle – Résultats sur le 4eme lot d’images (08 Aout 2025) .....	149
III.5.2.4.2. Analyse ROC des performances de classification sur 150 images .....	151
III.6. Interface de l’application pour les utilisateurs pour la remontée des données.....	152
III.7. Interface experte pour classification et géolocalisation automatique des maladies des plantes.....	154
III.8. Analyse spatiale et représentation cartographique des observations par l’application .....	155
III.9. Présentation des images analysées par l’application.....	157
<b>Chapitre IV : Étude économique et business plan</b>	
IV. 1. Présentation du projet .....	159
IV.1.1. Idée de projet ISS-Analytics (Insect Surveillance Solution) .....	159
IV.1.2. Objectifs du projet .....	159
IV.1.3. Valeurs suggérées du projet ISS-ANLYTICS .....	160
IV.1.4. Aspects innovants .....	160
IV.2. Equipe de projet et d’encadrement .....	161
IV.3. Plan organisationnel de l’équipe– ISS-Analytics .....	162
IV.4. Analyse stratégique du marché.....	163
IV.4.1. Segment du marché .....	163
IV.4.2. Mesure de l’intensité de la concurrence .....	163
IV.4.3. Stratégie marketing.....	164
IV.5. Scalabilité du projet.....	165
IV.5.1. Extension multi-espèces .....	166

<b>IV52</b>	Extension géographique (scalabilité internationale).....	168
<b>IV6</b>	Planification et lancement du projet ISS-ANALYTICS .....	169
<b>IV7</b>	Plan financier .....	172
<b>IV8</b>	Prototype expérimental.....	175
<b>IV9</b>	Business Modèle Caneva.....	175
<b>Conclusion</b>	.....	176
<b>Références bibliographiques</b>	.....	178

## Résumé :

La prolifération récente de la cochenille invasive *Dactylopius opuntiae* représente une menace sérieuse pour le figuier de Barbarie en Algérie, en raison de sa rapidité de propagation et de ses effets destructeurs. Face à ce risque, notre étude a combiné des approches moléculaires, des essais de tolérance variétale et le développement d'outils numériques afin d'améliorer la gestion de ce ravageur. L'analyse moléculaire (séquençage des gènes 12S, 18S et COI) a révélé, grâce à l'analyse phylogénétique, que les échantillons appartiennent à l'espèce *Dactylopius confusus*. En parallèle, les tests de tolérance réalisés sur huit variétés d'*Opuntia* ont permis d'identifier *Opuntia robusta* var. *robusta* et *Opuntia streptacantha* comme variétés résistantes. Enfin, une application numérique de surveillance a été développée « ISS-Analytics (Insect Surveillance Solution) », affichant des performances prometteuses (Accuracy : 90,66 %, Recall : 94,91 %, Précision : 87,91 %). Ces résultats apportent des bases solides pour la mise en place d'une stratégie de lutte intégrée et durable contre la cochenille du figuier de barbarie en Algérie. Ce travail ouvre également la voie à de futures recherches visant à mieux contrôler ce ravageur et à développer des solutions durables pour protéger cette ressource précieuse.

**Mots clés :** *Dactylopius opuntiae*, Figuier de Barbarie, Tolérance variétale, PCR, Surveillance.

## Abstract:

The recent proliferation of the invasive cochineal *Dactylopius opuntiae* poses a serious threat to prickly pear cactus in Algeria, due to its rapid spread and destructive effects. To address this risk, our study combined molecular approaches, varietal tolerance tests, and the development of digital tools to improve the management of this pest. Molecular analysis (sequencing of the 12S, 18S, and COI genes) revealed, through phylogenetic analysis, that the studied samples belong to the species *Dactylopius confusus*. In parallel, tolerance tests carried out on eight *Opuntia* varieties identified *Opuntia robusta* var. *robusta* and *Opuntia streptacantha* as resistant varieties. In addition, a digital application for pest monitoring was developed « ISS-Analytics (Insect Surveillance Solution) », showing promising performance (Accuracy: 90.66%, Recall: 94.91%, Precision: 87.91%). These findings provide a solid basis for implementing an integrated and sustainable management strategy against the cochineal in Algeria. This work also opens the way for further research aimed at better controlling this pest and developing sustainable solutions to protect this valuable resource.

**Keywords:** *Dactylopius opuntiae*, Prickly pear, Varietal tolerance, PCR, Monitoring.

## المخلص :

يمثل الانتشار الحديث للحشرة القرمزية (أو الحشرة القشرية) *Dactylopius Opuntiae* تهديدا خطيرا على شجرة التين الشوكي في الجزائر وذلك بسبب انتشارها السريع و اثارها المدمرة و امام هذا الخطر جمعت دراستنا بين المناهج الجينية، تجارب اختبار مقاومة بعض اصناف التين الشوكي، بالإضافة الى تطوير أدوات رقمية من اجل تحسين إدارة هذه الآفة حيث أظهرت التحاليل الجزيئية لتسلسل الحمض النووي (S, 18S, COI) بفضل التحليل الوراثي التطوري، أن العينات تنتمي إلى نوع *Dactylopius confusus* وبالتوازي مع ذلك، حددت اختبارات المقاومة والتحمل الصنفية التي أجريت على ثمانية أصناف من نوع *Opuntia*، *Opuntia robusta* var. *robusta* و *Opuntia streptacantha* كأصناف مقاومة. وأخيراً تم تطوير تطبيق المراقبة الرقمية "ISS-Analytics" والذي أظهر أداءً واعداً (الدقة: 90.66%، الاسترجاع: 94.91%، الضبط: 87.91%). توفر هذه النتائج أساساً متيناً لتنفيذ استراتيجية مكافحة متكاملة ومستدامة لمكافحة الحشرة القرمزية في الجزائر. كما يمهّد هذا العمل الطريق أمام أبحاث مستقبلية تهدف إلى تحسين مكافحة هذه الآفة وتطوير حلول مستدامة لحماية هذا المورد الثمين.

**الكلمات المفتاحية :** الحشرة القرمزية، التين شوكي، تحمل الأصناف، التحليل الجزيئي، الرصد.