

PROJET DE FIN D'ÉTUDES

PRESENTE EN VUE D'OBTENTION DU DIPLOME DE

MASTER SCIENCES ET TECHNIQUES

GESTION ET CONSERVATION DE LA BIODIVERSITE

**Mise au point d'un biopesticide NPc pour
lutter contre la cochenille *Dactylopius coccus***

Laboratoire d'accueil : laboratoire de biotechnologie à la faculté des sciences

Dhar El-Mhraz

Présenté par : **FILALI bouchra**

Encadré par : **Pr. REMMAL Adnane**

Pr. AMRANI JOUTEI Khalid

Soutenu le : **12 Juillet 2021**

Devant le jury composé de :

- **Pr. REMMAL Adnane**
- **Pr. AMRANI JOUTEI Khalid**
- **Pr. DERRAZ Khalid**
- **Pr. MIKOU Karima**

Année Universitaire : 2020/2021

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

À mes parents :

Ma vie n'aurait aucun sens sans vous. Nul mot ne pourra exprimer mon amour et ma gratitude envers vous.

À mes sœurs :

Mes sentiments d'amour se résument en « je vous aime ».

À mes neveux et mes nièces :

Vous êtes mes propres enfants, chacun de vous occupe une place dans mon cœur. Que Dieu vous bénisse.

À mes professeurs :

Pour leurs efforts, leurs disponibilités et leurs conseils.

À mes très chers amis(es) :

*Pour tous les moments joyeux et difficiles qu'on a partagés ensemble.
Bonne chance à vous.*

Remerciements

Si je suis là où je suis aujourd'hui, c'est tout d'abord grâce à Dieu et mes parents qui m'ont soutenu tout au long de ma période d'études, et grâce aux professeurs de la FST qui m'ont enseigné pendant les cinq années.

Tout d'abord, j'exprime mes gratitude remerciements à Mr. REMMAL Adnane, professeur à la Faculté des sciences Dhar el Mahraz pour son encadrement, pour sa disponibilité et ses conseils qu'il m'a prodigué.

J'adresse mes vifs remerciements au Pr. CHAMI Najat, professeur à la faculté des sciences Dhar ElMehraz, pour ses conseils précieux et ses remarques durant la rédaction de ce travail.

J'exprime également à Mr. AMRANI Khalid, professeur à la Faculté des sciences et Techniques, mes remerciements pour ses conseils et ses remarques judicieuses. Ma profonde gratitude pour le temps consacré à la lecture de ce rapport et de m'encadrer durant la période de stage.

Je tiens à remercier vivement tous les membres du laboratoire LIAV OUKHOUIA Mounia et HOUIAT Assia pour leurs soutien et les efforts fournis tout au long de ces quatre mois de stage.

Que messieurs les membres de jury trouvent ici l'expression de mes reconnaissances pour avoir accepté de juger ce travail.

Résumé

La culture du Cactus est un véritable trésor présent au Maroc. Elle est l'une des plus importantes sources de production des fruits et raquettes dans plusieurs régions marocaines. Etant donné que cette culture assure la production des fruits, des figues, et du fourrage pour le bétail ; l'apparition de la cochenille et sa dissémination rapide ont engendré la destruction des champs entiers du cactus causant d'énormes pertes économiques et environnementales.

L'utilisation des pesticides chimiques présente des effets néfastes pour l'environnement et la santé. Des études ont montré que les huiles essentielles perturbent le développement des insectes. NPc est un produit naturel à base d'huiles essentielles qui pourrait remplacer l'utilisation des pesticides chimiques.

Dans cette perspective, et dans le but de réduire les dégâts de la cochenille, nous avons évalué l'effet *in vitro* et *in situ* du NPc sur la cochenille en le comparant avec l'effet d'un pesticide chimique recommandé pour la lutte contre la cochenille, le Chlorpyrifos associé l'huile minérale.

En effet, les résultats obtenus ont montré que le biopesticide NPc possède des effets multiples ; il a un effet sur la dégradation de la cire protectrice de la cochenille et un effet insecticide sur les différents stades du développement de la cochenille à une concentration létale de 10ml/L.

Mots clés : Cactus, Cochenille, *Dactylopius Coccus*, Cire protectrice, Biopesticide, Huiles essentielles, Effet insecticide, Chlorpyrifos, Huile minérale.

Abstract

The culture of the Cactus is a true treasure present in Morocco. It is one of the most important sources of production in several Moroccan regions. Since this culture ensures the production of fruits, figs, and fodder for livestock, the appearance of the mealy bug and its rapid dissemination have led to the destruction of entire cactus fields causing huge economic and environmental losses.

The use of chemical pesticides has adverse environmental and health effects. Some studies have shown that the essential oils disrupt the development of the insects. NPc® is a natural product made of essential oils that could replace the use of the chemical pesticides.

In this perspective, and with the aim of reducing the damages of the cochineal, we evaluated the effect of NPc® on the cochineal in vitro and in vivo by comparing it with the effect of a chemical pesticide that was recommended for the control of the cochineal, Chlorpyrifos and Mineral Oil.

Indeed, the obtained results showed that the biopesticide NPc has a multiple effect; it has an effect on the degradation of the protective wax of the cochineal and an insecticidal effect on the development stages of the cochineal at a lethal concentration 10ml/L.

Key words : Cactus, Cochineal, *Dactylopius Coccus*, Protective wax, Biopesticide, Essential oils, Insecticide effect, Chlorpyrifos, Mineral oil.

Liste des abréviations

D. coccus : *Dactylopius coccus*

LIAV : Laboratoire industriel d'alternatives vétérinaires

NPc : Natural Product Cactus

HM : Huile minérale

ONSSA : Office Nationale de Sécurité Sanitaire des Aliments

Liste des figures

| | | |
|-----------|---|----|
| Figure 1 | Composition de l'huile de Cactus | 5 |
| Figure 2 | Consommation alimentaire du Nopalitos au vinaigre | 6 |
| Figure 3 | Exemple de dégâts causés par l'insecte ravageur <i>Dactylopius Coccus</i> au Cactus | 7 |
| Figure 4 | Observation des stades de cochenille femelle sous loupe binoculaire | 9 |
| Figure 5 | Cycle de vie de la femelle cochenille | 10 |
| Figure 6 | Observation du stade adulte mâle de la cochenille sous loupe binoculaire | 10 |
| Figure 7 | Cycle de vie du mâle de la cochenille | 11 |
| Figure 8 | Observation au microscope électronique à balayage des filaments de la cire de <i>D. Coccus</i> A) x1500 et B) x4000 | 11 |
| Figure 9 | Extraction de l'acide carminique réalisée au laboratoire de la FSDM | 12 |
| Figure 10 | <i>Hyperaspis trifurcata</i> prédateur du ravageur <i>Dactylopius Opuntiae</i> | 14 |
| Figure 11 | Raquettes de figuier de barbarie infestées par la cochenille <i>Dactylopius Coccus</i> | 16 |
| Figure 12 | Les concentrations des différents constituants du NPc testées sur la cire de la cochenille | 17 |
| Figure 13 | Schéma récapitulatif de la préparation de l'échantillon de la cire à observer | 18 |
| Figure 14 | Dispositif expérimental du traitement des nymphes mobiles par pulvérisation | 19 |
| Figure 15 | Dispositif expérimental du traitement des nymphes mobiles par l'effet vapeur | 20 |
| Figure 16 | Dispositif expérimental du traitement des nymphes immobiles par pulvérisation | 21 |
| Figure 17 | Dispositif expérimental du traitement des femelles adultes par pulvérisation | 21 |
| Figure 18 | Dispositif expérimental du traitement des femelles adultes par l'effet vapeur | 22 |
| Figure 19 | Raquette choisie pour le traitement par l'eau | 23 |
| Figure 20 | Raquette choisie pour le traitement par NPc | 23 |

| | | |
|-------------|--|----|
| Figure 21-a | Observation à l'œil nu d'un tube à essai contenant un échantillon de cire traité à l'eau | 25 |
| Figure 21-b | Observation sous microscope optique d'un échantillon de cire traité à l'eau (grossissement x40) | 25 |
| Figure 22-a | Observation à l'œil nu d'un tube à essai contenant un échantillon de cire traité au NPc au 1/10 | 25 |
| Figure 22-b | Observation sous microscope optique d'un échantillon de cire traité au NPc au 1/10 (grossissement x40) | 25 |
| Figure 23-a | Observation à l'œil nu d'un échantillon de cire traité au NPc au 1/20 | 26 |
| Figure 23-b | Observation à l'œil nu d'un tube à essai contenant un échantillon de cire traité au NPc au 1/20 (grossissement x40) | 26 |
| Figure 24 | Observation sous loupe binoculaire des œufs traités par pulvérisation à l'eau (b), au NPc (c) ou au composé Chlorpyrifos + HM (d) après 24h | 28 |
| Figure 25 | Cinétique de l'effet insecticide du traitement par pulvérisation du NPc (a) et du Chlorpyrifos + HM (b) sur la mortalité des nymphes | 29 |
| Figure 25-c | Cinétique de l'effet insecticide du traitement par pulvérisation du NPc et du Chlorpyrifos sur la mortalité des nymphes durant 20 min | 30 |
| Figure 26 | Cinétique de l'effet vapeur du NPc (a) et du Chlorpyrifos + HM (b) sur la mortalité des nymphes | 31 |
| Figure 27 | Observation sous loupe binoculaire de la déshydratation des nymphes mobiles traitées par pulvérisation à l'eau (b), au NPc (c) ou au Chlorpyrifos + HM (d) après 72h | 32 |
| Figure 28 | Cinétique de l'activité insecticide du traitement par pulvérisation du NPc (a) et du Chlorpyrifos + HM (b) | 33 |
| Figure 29 | Observation sous loupe binoculaire de la déshydratation des nymphes immobiles après 72h du traitement à l'eau (b), au NPc (c) ou au composé Chlorpyrifos + HM (d) | 34 |
| Figure 30 | Cinétique de l'effet insecticide du NPc (a) et du composé Chlorpyrifos + HM sur l'inhibition de la ponte des femelles adultes (b) | 35 |
| Figure 31 | Cinétique de l'activité insecticide de NPc (a) et du Chlorpyrifos + HM (b) sur l'inhibition de la ponte des femelles adultes | 36 |

| | | |
|-----------|--|----|
| Figure 32 | Observation sous loupe binoculaire de la ponte et la déshydratation des femelles après 72h du traitement à l'eau (b), au NPc (c) ou au Chlorpyrifos + HM (d) | 37 |
| Figure 33 | Observation sous loupe binoculaire des femelles traitées à l'eau (a), au NPc (b) ou au Chlorpyrifos + HM (c) | 38 |
| Figure 34 | Observation sous microscope des femelles traitées à l'eau (a), au NPc (b) ou au Chlorpyrifos + HM (c) | 39 |
| Figure 35 | Suivi de l'état de la raquette après traitement à l'eau | 40 |
| Figure 36 | Suivi de l'état de la raquette après traitement au NPc | 41 |

Liste des tableaux

| | | |
|-----------|--|----|
| Tableau 1 | Principales maladies fongiques du genre <i>Opuntia</i> | 7 |
| Tableau 2 | Principaux insectes ravageurs du genre <i>Opuntia</i> | 7 |
| Tableau 3 | Les changements observés sur les œufs après traitement au NPc sous loupe binoculaire | 27 |

Sommaire

| | |
|--|----|
| INTRODUCTION GENERALE | 1 |
| REVUE BIBLIOGRAPHIQUE | 3 |
| I. Généralités sur les Cactacées | 4 |
| 1. Origine et classification | 4 |
| 2. Variétés au Maroc | 4 |
| 3. Importance et utilisation | 5 |
| 4. Maladies des Cactacées | 7 |
| II. Généralités sur la cochenille de cactus : <i>Dactylopius Coccus</i> | 8 |
| 1. Classification | 8 |
| 2. Biologie | 8 |
| 3. Cycle de vie | 9 |
| 3.1. Cochenille femelle | 9 |
| 3.2. Cochenille mâle | 10 |
| 4. Caractéristiques de la cochenille | 11 |
| 5. Méthodes de lutte | 12 |
| 5.1. Lutte chimique | 13 |
| 5.2. Lutte biologique | 13 |
| a. Lutte par biopesticides | 13 |
| b. Lutte par les insectes auxiliaires | 13 |
| MATERIEL ET METHODES | 15 |
| I. Matériel biologique | 16 |
| 1. Les raquettes infestées | 16 |
| 2. Produits traitants | 16 |
| II. Développement et évaluation <i>in vitro</i> de l'action du NPc sur la cire de la cochenille | 17 |
| 1. Développement du produit NPc | 17 |
| 2. Evaluation de la meilleure concentration du NPc sur la cire de la cochenille | 18 |
| III. Evaluation <i>in vitro</i> de l'action du NPc sur les différents stades du développement de la cochenille | 18 |
| 1. Identification et isolement des différents stades de la cochenille | 18 |
| 2. Action du NPc sur le stade œuf | 19 |
| 3. Action du NPc sur le stade nymphe mobile | 19 |

| | |
|---|----|
| 3.1. Traitement des nymphes mobiles par pulvérisation | 19 |
| 3.2. Action de l'effet vapeur du NPc sur les nymphes mobiles | 20 |
| 4. Action du NPc sur le stade nymphe immobile | 20 |
| 5. Action du NPc sur le stade femelle | 21 |
| 5.1. Traitement des femelles par pulvérisation | 21 |
| 5.2. Effet vapeur du NPc sur les femelles | 22 |
| 5.3. Action de l'effet du NPc sur la déshydratation des femelles | 22 |
| IV. Evaluation <i>in situ</i> de l'action du NPc sur les raquettes de figuier de barbarie | 23 |
| RESULTATS | |
| I. Evaluation <i>in vitro</i> de l'action du NPc sur la cire blanche de la cochenille | 25 |
| II. Evaluation <i>in vitro</i> de l'action du NPc sur les différents stades du développement de la cochenille | 27 |
| 1. Evaluation de l'action du NPc sur le stade œuf | |
| 1.1. Effet par pulvérisation du NPc sur les œufs | 27 |
| 1.2. Observation sous loupe binoculaire des œufs traités | 28 |
| 2. Evaluation de l'action du NPc sur le stade nymphe mobile | 29 |
| 2.1. Effet par pulvérisation du NPc sur les nymphes mobiles | 29 |
| 2.2. Effet vapeur du NPc sur les nymphes mobiles | 31 |
| 2.3. Observation sous loupe binoculaire des nymphes mobiles traitées | 32 |
| 3. Evaluation de l'action du NPc sur le stade nymphe immobile | 33 |
| 3.1. Effet par pulvérisation du NPc sur les nymphes immobiles | 33 |
| 3.2. Observation sous loupe binoculaire des nymphes immobiles traitées | 34 |
| 4. Evaluation de l'action du NPc sur le stade femelle adulte | 35 |
| 4.1. Effet par pulvérisation du NPc sur les femelles adultes | 35 |
| 4.2. Effet vapeur du NPc sur les femelles adultes | 36 |
| 4.3. Observation sous loupe binoculaire de femelles adultes traitées | 37 |
| 4.4. Effet du NPc sur la déshydratation des femelles adultes | 38 |
| III. Evaluation <i>in situ</i> de l'action du NPc sur des raquettes de figuier de barbarie | 39 |
| DISCUSSION | |
| CONCLUSION GENERALE | |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES | |

Introduction générale

Au Maroc, le secteur agricole joue un rôle central sur le plan économique, social et nutritionnel. Il contribue à la garantie de la sécurité alimentaire du pays. C'est pour cela qu'une nouvelle stratégie nationale de développement agricole baptisée « Plan Maroc Vert » a été lancée pour élargir la diversité des systèmes de production et de reconvertir les systèmes de cultures peu performants vers des cultures alternatives. La propriété a été donnée aux cultures qui s'adaptent plus aux conditions de sécheresse et de pénurie d'eau telles les Cactacées.

Les cactacées sont des plantes plus adéquates à vivre dans un climat aride et semi-aride grâce à sa résistance à la sécheresse, aux hautes températures et sols pauvres. Cette culture est présente dans la majorité du Royaume et joue un rôle fondamental au niveau de la protection des terres contre l'érosion et la biodiversité. En fait, son importance a poussé les chercheurs à améliorer les recherches sur l'écologie, la culture et l'utilisation ainsi que les maladies des cactacées, notamment la cochenille du Cactus (**Inglese. ,2020**).

La cochenille précisément l'espèce *Dactylopius Coccus*, est un insecte parasite provoquant d'énormes dégâts pour le Cactus dans toutes les zones mondiales et dont les symptômes se manifestent par le jaunissement des raquettes, la pourriture et la mort des plantes, ce qui peut entraîner des pertes partielles ou totales de leur production agricole.

Actuellement, cet insecte a attaqué plusieurs régions du royaume marocain. Des centaines d'hectares ont été ravagées par la cochenille, causant d'énormes dégâts et pertes agricoles, en poussant les agriculteurs à brûler leurs champs de Cactus. Pourtant, la production du Cactus est considérée une source de nourriture pour le bétail et une source de revenus pour ces agriculteurs (**Cherif Benismail et coll., 2000**).

Afin de réduire cette épidémie, plusieurs traitements chimiques ont été utilisés. Leurs effets néfastes sur l'écosystème et la santé humaine ont porté à trouver des alternatives de protection des cultures en utilisant des biopesticides à base d'huiles essentielles qui sont biodégradables et qui n'ont pas d'impact sur la santé et l'environnement et ne laissant pas de résidus nocifs.

Notre travail est la suite d'une étude faite auparavant sur la cochenille du cactus, en utilisant un biopesticide NPc (ancienne formule) développé par le laboratoire LIAV. L'étude a porté seulement sur les différents stades du développement de la cochenille sans se préoccuper de la cire protectrice qui couvre la cochenille.

Les résultats obtenus par l'étude réalisée par Korchi (2020) ont abouti au développement d'un nouveau produit NPc (nouvelle formule). Ce dernier vise à obtenir des résultats encore plus efficaces en termes de réduction de la prolifération de la cochenille, en utilisant des concentrations plus faibles.

La cire produite par la cochenille est considérée comme un mécanisme de protection contre plusieurs prédateurs, et un mécanisme de défense contre les insecticides ; ce qui met les agriculteurs en difficulté dans le cadre de la lutte contre la cochenille.

Le but de la première partie de ce travail est d'évaluer *in vitro* l'action du NPc amélioré sur la dégradation de la cire blanche de la cochenille.

Dans la deuxième partie, nous avons évalué *in vitro* l'action du NPc amélioré sur la mortalité, le mouvement et la déshydratation des différents stades du développement de la cochenille.

Enfin, dans la troisième partie de ce travail, nous avons évalué *in situ* l'effet insecticide du NPc sur le terrain.

*Revue
Bibliographique*

I. Généralités sur les Cactacées

1. Origine et Classification

La famille des cactacées est la famille des plantes à fleurs, des plantes succulentes caractérisées par leur capacité à tolérer la sécheresse à tel point qu'une petite quantité d'eau permet leur survie grâce à leur système racinaire qui développe des caractéristiques xéromorphiques expliquées par la restriction de la surface racinaire et la diminution de leur perméabilité à l'eau (Snyman, 2004).

Les Cactacées nommées *Cactus* sont originaires des régions arides et semi-arides du Mexique et ont été introduites en Europe, en Chine, en Afrique du Sud et en Afrique du Nord vers le 16^{ème} siècle par les expéditeurs (Kiesling, 1999) où elles sont cultivées pour la production des fruits, l'utilisation comme fourrage et comme plante cosmopolite.

 Classification des cactacées :

| | |
|----------|-----------------------|
| Règne | <i>Plantae</i> |
| Division | <i>Magnoliophyta</i> |
| Classe | <i>Magnoliopsida</i> |
| Ordre | <i>Caryophyllales</i> |
| Famille | <i>Cactaceae</i> |

Les cactacées regroupent plus de 2500 espèces identifiées par une diversité morphologique des racines, des rameaux et des organes reproducteurs. Cependant, elles possèdent en commun un système racinaire superficiel charnu pour absorber le maximum d'eau.

Elles sont caractérisées par une diversité extraordinaire des tiges, des feuilles bien développées, des fleurs odorantes souvent très grandes de diverses couleurs, des fruits baies charnus et de graines généralement très nombreuses riches en vitamines et oligoéléments d'où l'huile végétale est extraite (Lerch, 1953).

2. Variétés au Maroc

Les cactacées ont été introduites en Afrique du Nord à la fin du 16^{ème} siècle, dont le Maroc fait partie avec une superficie de 150.000 hectares en 2017 (**Assistance d'urgence pour l'éradication de la Cochenille du Cactus, ONSSA**).

Le Maroc est parmi les pays producteurs du cactus dans le monde. Il possède des variétés distinguées par la forme du fruit, la couleur de la fleur, la pulpe du fruit, les périodes de floraison et les caractéristiques organoleptiques des fruits.

Opuntia est le genre le plus répandu au Maroc avec les espèces suivantes (Arba et coll., 2002):

- *Opuntia ficus indica* ou figuier de barbarie, est cultivé dans la province de Sidi Ifni par 2 variétés inermes d'*Opuntia ficus indica* ; «Aïssa» (précoce) et «Moussa» (tardive) qui possède des fruits de couleur jaune-orangé. Cette espèce est présente aussi au centre du pays, **Rehamna**, dénommé **Derbana** et très recherchée pour ses cladodes utilisés comme fourrage et surtout pour la qualité organoleptique de ses fruits. Dans la région du Rif (El Hoceima) «**Dellahia**», «**El Bayda**» et «**El Akria**» sont des variétés d'*Opuntia ficus indica*, très appréciées par la couleur des fruits et leur qualité organoleptique.
- *Opuntia megacantha* présente dans la plupart du Sud, nommée «**Achfri**» est très épineuse. Et une autre variété dénommée «**Mels**» est cultivée à la région Rehamna, et elle présente des fruits jaune-orangé et rouges.
- *Opuntia Schumannii*, une variété d'Esssouira qui a des épines fortes de couleur jaune.

3. Importance et utilisations

Les cactacées présentent une grande importance écologique et socioéconomique. Ils peuvent être utilisés en produits cosmétiques, thérapeutiques, pour consommation humaine et comme aliments de bétail.

a. Rôle écologique

Le cactus s'adapte à la sécheresse dans les zones arides. Il est utilisé comme clôture vivante pour protéger les maisons, contrôler et éviter l'érosion du sol (Mondragón Jacobo et Chessa, 2013).

b. Utilisation en tant que produit cosmétique

Les cactacées contiennent de nombreuses graines qui représentent 10 à 15% du poids de la pulpe. Les huiles des graines forment un pourcentage de 80% d'acides gras insaturés de tous les acides gras (Ennouri et coll., 2005).

L'huile de graine est destinée aux cosmétiques comme huile employée dans la production de produits anti-âge et antirides à des prix très élevés. Elle est antioxydante, cicatrisante, hydratante, nourrissante et raffermissante (Boudilmi et Mehoulas, 2020).

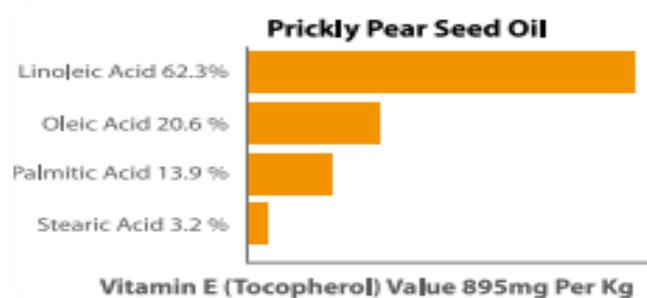


Figure 1 - Composition de l'huile de Cactus

c. Utilisation en thérapeutique

Les cactus sont traditionnellement utilisés, dans plusieurs pays, comme médicaments naturels pour le traitement de nombreuses maladies. Des variétés d'*Opuntia* ont été utilisées dans le traitement de la gastrite, de la fatigue et de la dyspnée (une difficulté respiratoire). De même, les cladodes chauffés ont été appliqués pour traiter le rhumatisme, les érythèmes et les infections de la peau (Stintzing et Carle, 2005).

d. Consommation humaine

Opuntia ficus-indica (L.) est considéré comme étant l'espèce la plus importante pour la production de *Nopalitos*; de jeunes cladodes tendres utilisés dans la cuisine mexicaine. En outre, les fruits sont les plus consommés, ils sont riches en vitamines C, en caroténoïdes et en fibres alimentaires (Morales et coll., 2009). Alors que les graines sont riches en acides gras essentiels poly-insaturés tels que l'acide linoléique (Ennouri et coll., 2005).



Figure 2 - Consommation alimentaire du Nopalitos au vinaigre

e. Aliments de bétail

Les cladodes de cactus sont utilisés comme aliments pour les ruminants par les éleveurs et sont caractérisés par leurs teneurs élevées en eau, en sucres, en cendres et en vitamines A et C, mais ils ont une faible teneur en protéines brutes et en fibres (Le Houérou, 1996a). Leur consommation par le bétail permet d'améliorer la saveur du lait et la qualité du beurre.

4. Maladies des Cactacées

Maladies fongiques

Tableau 1 - Principales maladies fongiques du genre *Opuntia*

| Agent responsable | Hôte | Référence |
|---|--|-------------------------|
| <i>Pseudocercospora opuntiae</i> (Cercosporiose) | <i>Opuntia spp</i> , <i>Nopalea spp</i> | Ochoa et coll., 2015b |
| <i>Lasiodiplodia theobromae</i> (Pourriture des cladodes et des fruits) | <i>Opuntia spp</i> | Somma et coll., 1973 |
| <i>Fusarium oxysporum f. sp. opuntiarum</i> (Fusariose ou pourriture racinaire) | <i>Echinocactus grusoni</i> | Pettinari, 1951 |
| <i>Penicillium spp</i> (Pourriture du fruit à <i>Penicillium</i>) | <i>Opuntia spp</i> | Schirra et coll., 1999b |

Insectes ravageurs

Tableau 2 : Principaux insectes ravageurs du genre *Opuntia*

| Insecte ravageur | Hôte | Référence |
|---|--------------------|---------------------------------|
| Dactylopius (cochenille) | <i>Opuntia spp</i> | Flores Hernandez et coll., 2006 |
| Lépidoptères ravageurs | <i>Opuntia spp</i> | Zimmermann et Granata, 2002 |
| Charançons du cactus (Curculionidae) | <i>Opuntia spp</i> | Dodd, 1940 ; Mann, 1969 |



Figure 3 - Exemple de dégâts causés par l'insecte ravageur *Dactylopius Coccus* au Cactus

II. Généralités sur Cochenille de cactus : *Dactylopius Coccus*

La cochenille est un insecte parasite qui s'attaque à la famille des cactacées ; en particulier l'espèce *Dactylopius Coccus* qui est apparue au Maroc en 2014 et a endommagée des champs entiers de la culture du figuier de barbarie. Par conséquent, sa propagation a provoqué un jaunissement des raquettes, une pourriture, une mortalité de la majorité des plantes et une diminution de la production agricole.

1. Classification

La cochenille *Dactylopius Coccus* est un insecte sessile qui vit et se nourrit des raquettes du cactus. La femelle produit un acide carminique pour se défendre des prédateurs et qui représente une source d'un colorant utilisé en cosmétique (Rouge Carmin), en alimentation et dans le domaine pharmaceutique. Elle est classée selon la taxonomie suivante :

| | |
|---------------|---------------------------|
| Règne | <i>Animalia</i> |
| Embranchement | <i>Arthropoda</i> |
| Classe | <i>Insecta</i> |
| Sous-Classe | <i>Ptérygota</i> |
| Ordre | <i>Hemiptera</i> |
| Famille | <i>Dactylopiidae</i> |
| Genre | <i>Dactylopius</i> |
| Espèce | <i>Dactylopius coccus</i> |

2. Biologie

L'espèce *Dactylopius coccus* est un insecte parasite à corps mou, plat de forme ovale. Elle est caractérisée par des femelles immobiles d'environ 5 mm de long, sans ailes (aptères). Ce sont des piqueurs-suceurs de la sève en se fixant sur les raquettes du cactus.

Pour assurer l'accouplement, des hormones sexuelles sont émises par les femelles qui attirent les mâles. Les femelles sont fécondées et donnent naissance à des nymphes. Ces derniers sécrètent une cire protectrice de l'eau et de l'excès de soleil. Les mâles sont plus petits comparés aux femelles, ils ont des ailes (Nejad et coll., 2013).

Le développement de *D. coccus* est affecté par les prédateurs, les températures inférieures à 20 °C ou supérieures à 30 °C, de fortes pluies qui éliminent les nymphes non fixées et la cire protectrice. Les rayonnements solaires et les courants d'air affectent spécialement le 1^{er} stade nymphal (**Pérez Guerra, 1991**).

3. Cycle de vie

3.1. Cochenille femelle

Au cours du cycle de vie, la cochenille femelle vit trois mois et passe par quatre stades de développement : œuf, nymphe mobile, nymphe immobile et adulte femelle (**Rodríguez et Niemeyer, 2001 ; Pérez Guerra, 1991**).



Figure 4 - Observation des stades de cochenille sous loupe binoculaire

a)- une chaîne d'œufs pondus; b)-1^{er} stade nymphe mobile; c)-2^{ème} stade nymphe immobile; d)-femelle adulte

✚ Œufs

La femelle pond une longue chaîne d'œufs ovoïdes de couleur rouge vif qui reste près ou sous le corps de la femelle et s'éclot immédiatement ou après quelques heures (**Figure 4-a**)

✚ Nymphe mobile

Elle présente le 1^{er} stade du développement. Les nymphes restent attachées les 1 ères minutes à leur mère puis s'éloignent vers les jeunes raquettes où elles passent par une phase migratoire de deux jours et ensuite se fixent sur les raquettes. Elles sont couvertes de filaments cireux tout au long du corps (**Figure 4-b**).

✚ Nymphe immobile

C'est le 2^{ème} stade où la nymphe est ovale, fixe (ne bouge plus) ; elle émerge, se développe et devient une femelle qui s'accouple après environ trois semaines (**Figure 4-c**).

✚ Femelle adulte

Elle est ovale, mesure de 4 à 6 mm de long, recouverte d'une substance cireuse blanche plus dense que celle du 2^{ème} stade. Après la fécondation, la femelle adulte augmente de taille et commence la ponte qui dure 30-50 jours avec une moyenne de 430 œufs par femelle (**Figure 4-d**).

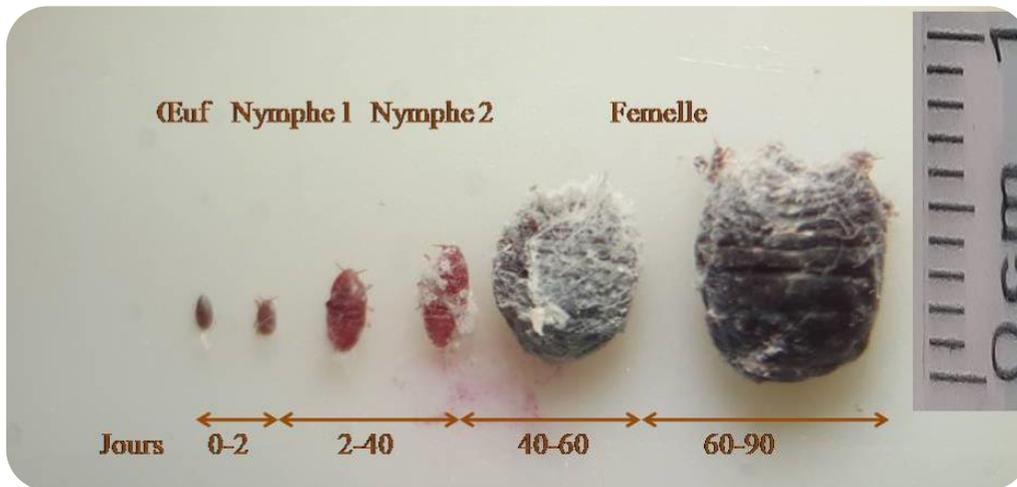


Figure 5 - Cycle de vie de la femelle cochenille

3.2. Cochenille mâle

La cochenille mâle vit deux mois et passe par six stades de développement : œuf, nymphe mobile, nymphe immobile, pré-pupa, pupa et adulte mâle (**Rodríguez et Niemeyer, 2001 ; Pérez Guerra, 1991**).

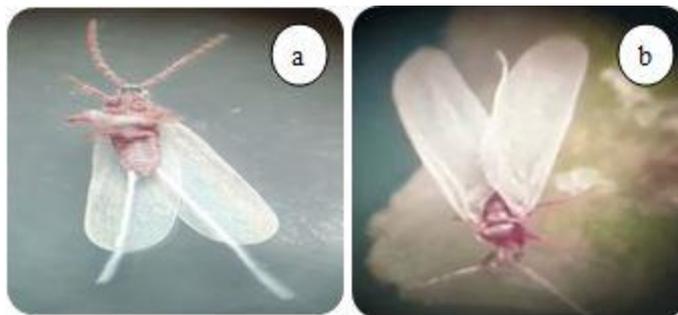


Figure 6 - Observation du stade adulte mâle de la cochenille sous loupe binoculaire

a)- vue ventrale d'un mâle adulte ; b)- vue dorsale d'un mâle adulte

✚ Œufs et nymphes mobiles sont presque semblables à ceux de la femelle.

✚ Nymphes immobiles :

Elle se distingue de la femelle par la taille. Elle commence à former un cocon ovale blanc constitué de filaments cireux. Après un jour, le cocon est formé ; le mâle se développe à l'intérieur du cocon durant les stades pré-pupa et pupa jusqu'à ce que l'adulte apparaisse.

✚ Mâle adulte :

Il mesure de 3 à 3,5mm de longueur, présente une tête détachée du thorax portant des antennes, 6 yeux, pas de pièces buccales, une paire d'ailes blanches et 2 filaments partent de chaque côté du dernier segment abdominal. Ils fertilisent la femelle et meurent.



Figure 7 - Cycle de vie du mâle de la cochenille

4. Caractéristiques de la cochenille

✚ Cire protectrice :

D. Coccus produit un grand nombre de filaments tubulaires qui couvrent l'observation tout le corps, l'observation au microscope électronique à balayage montre la présence des pores quinqueloculaires qui produisent des filaments courts et lisses. Elle est considérée comme moyen de défense contre les prédateurs tels que les coccinelles, les fourmis, etc. et de protection contre le soleil et la pluie (**Morrison, 1984**).

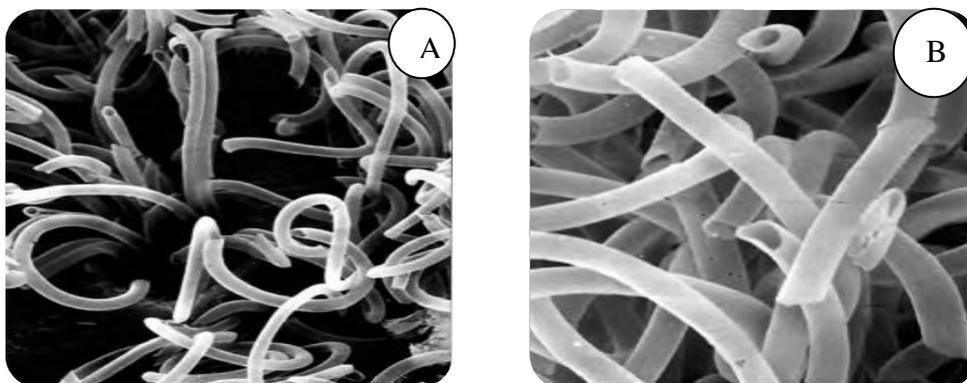


Figure 8 - Observation au microscope électronique à balayage des filaments de la cire de *D. Coccus* A) x1500 et B) x4000

Carmin :

La cochenille produit un acide carminique connu sous le nom du rouge de carmin. Ce colorant a une grande importance au niveau du marché mexicain. Il est utilisé en alimentation (E120) (les sirops, les bonbons, les saucissons, les glaces, les yaourts), et en cosmétologie (dans les rouges à lèvres, les poudres et les crayons pour les yeux).

La production du colorant Carmin nécessite une infestation artificielle des plantes hôtes afin d'augmenter la colonisation des nouvelles plantes. Après le développement et la prolifération des stades, la cochenille est collectée à la main, séchée au four ou au soleil et pulvérisée. La poudre obtenue est l'acide carminique alors que le colorant carmin est extrait à partir de l'acide carminique qui est par la suite porté à ébullition puis filtré, précipité, lavé et enfin séché (Nejad et Nejad, 2013).



Figure 9 - Extraction de l'acide carminique réalisée au laboratoire de la FSDM

5. Méthodes de lutte contre la cochenille

Les dégâts causés par la cochenille nécessitent une approche progressive de lutte en tenant compte des effets négatifs sur l'environnement et la biodiversité. Cette approche est basée sur la lutte chimique et la lutte biologique soit par les biopesticides soit par les auxiliaires. Les larves sont faciles à combattre, car elles ne possèdent pas de protection contrairement aux femelles adultes qui sont protégées par la cire.

5.1. Lutte chimique

Au Mexique, la lutte chimique contre la cochenille est basée sur l'utilisation du malathion, du méthyl parathion, ou du trichlorfon (**Badii et Flores, 2001**) ou encore le Chlorpyrifos (**Cruz-Rodriguez et coll., 2016**). En Afrique du Sud, le Chlorpyrifos est le plus utilisé dans la lutte.

Ces produits chimiques sont des insecticides appartenant à la famille des organophosphorés, qui polluent l'environnement et l'écosystème. Ce sont des agents neurotoxiques qui inhibent l'action de l'acétylcholinestérase dans les cellules nerveuses chez l'insecte et l'humain. Leurs effets néfastes agissent sur le développement cérébral du fœtus et des enfants par la consommation de fruits et légumes issus d'un traitement par les organophosphorés (**Jurewicz et Hanke, 2008**).

5.2. Lutte biologique

a. Par les biopesticides

Les biopesticides sont des produits issus de substances naturelles notamment les huiles essentielles végétales, utilisées comme produits alternatives des pesticides chimiques dans la lutte contre les insectes nuisibles et les maladies parasitaires. Plusieurs recherches ont affirmé que les biopesticides sont moins toxiques que les pesticides, et n'ont généralement que peu ou pas d'effets résiduels sur l'environnement et la santé humaine. En plus du fait qu'ils sont moins toxiques, ils sont efficaces en petite quantité, naturels et rapidement décomposables (**Kumar, S. 2012**).

b. Par les insectes auxiliaires

L'acide carminique est toxique pour certains prédateurs alors que d'autres sont capables de surmonter ce moyen de protection (**Mazzeo et coll., 2019**); Ces insectes auxiliaires font l'objet de réguler la population des ravageurs de manière à les maintenir en-dessous d'un seuil acceptable pour limiter les dégâts.

Plusieurs espèces des coléoptères ont été signalées de prédation contre la cochenille telle que *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (*Coccinellidae*) et *Cybocephalus* sp. (*Nitidulidae*), *Chilocorus cacti* (L.), *Coccidophilus citricola* Brèthes, *Hyperaspis trifurcata* Schaeffer, etc. (**Mazzeo et coll., 2019**).

Par exemple, l'espèce *Hyperaspis trifurcata* est une coccinelle de la famille des *Coccinellidae* qu'elle s'est révélée être l'une des espèces les plus abondantes et les plus efficaces pour la lutte contre le ravageur *Dactylopius Opuntiae* (**Cruz-Rodriguez et coll., 2016**). Chaque femelle peut consommer plus de 5400 nymphes durant toute sa vie, c'est pour cela sa prolifération dépend de l'augmentation de ses proies (**Vanegas-Rico et coll., 2016**).



Figure 10 - *Hyperaspis trifurcata* prédateur du ravageur *Dactylopius Opuntiae*

Matériel

Et

Méthodes

Le présent travail a été réalisé au laboratoire industriel d'alternatives vétérinaires (LIAV) et le laboratoire d'accueil de biotechnologie à la faculté des sciences Dhar El-Mahraz sous la direction du Professeur REMMAL Adnane.

I. Matériel biologique

1. Les raquettes infestées

Le matériel biologique utilisé est la plante *Opuntia ficus indica* infestée par la cochenille *Dactylopius coccus*. Des raquettes infestées ont été prélevées de la région Triq Ain chkef entre le mois Février et Mars.

Les raquettes prélevées sont ensuite mises dans des sachets en plastique, puis transportées au laboratoire de la faculté des sciences Dhar El Mehraz et examinées sous la loupe binoculaire.



Figure 11 - Raquettes de figuier de barbarie infestées par la cochenille *Dactylopius Coccus*

2. Produits traitants

✚ Le Chlorpyrifos

Le Chlorpyrifos est un insecticide qui agit comme poison de contact, utilisé sur une grande variété de récoltes infestées par les insectes. La cochenille est traitée par la dose préconisée par le fabricant de Chlorpyrifos diluée dans de l'eau 75ml/100L. Dans nos tests, la dose habituellement utilisée a été doublée et triplée.

✚ L'huile minérale (HM)

L'huile minérale est un mélange issu de distillation des combustibles fossiles (Pétrole, charbon...) est aussi employée contre les ravageurs.

Produit naturel NPc

Le produit NPc (Natural Product Cactus) est un produit naturel à base d'huiles essentielles de plante, développé et amélioré par le laboratoire LIAV (laboratoire industriel d'alternatives vétérinaires) dont la formule est confidentielle. Dans le but, de protéger les plantes contre les microorganismes et les insectes pour réduire au maximum les pertes agricoles du figuier de barbarie.

II. Développement et évaluation *in vitro* de l'action du NPc sur la cire de la cochenille

1. Développement du produit NPc

Six compositions différentes NPc (dont la composition est confidentielle), ont été testées au laboratoire à des concentrations différentes selon le protocole suivant.

Dans des béchers, chaque composition du NPc a été diluée à des concentrations précises (**Figure 12**).



Figure 12 - Les concentrations des différents constituants du NPc testées sur la cire de la cochenille

Le NPc dilué est testé sur 0,1 g de cire blanche (plus exactement les filaments cireux sans impuretés de la cochenille) pesée à l'aide d'une balance. La cire a été introduite dans des tubes à essai puis un volume de 5ml de chaque concentration est versé dans le tube contenant la cire. Chaque tube est mis de côté en attendant que le composé pénètre les filaments cireux. Ces derniers ont été prélevées et observées à l'œil nu puis au microscope optique au grossissement x40 (**Figure 13**).

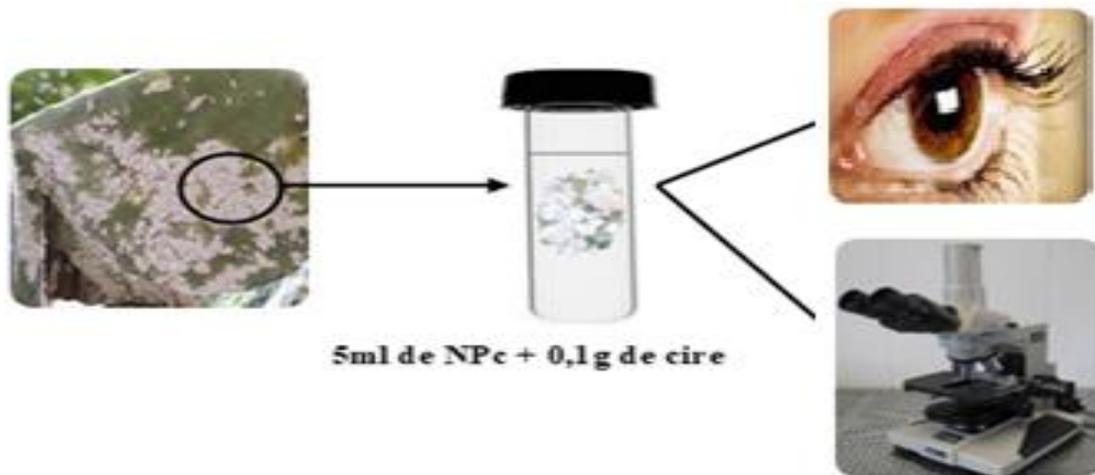


Figure 13 - Schéma récapitulatif de la préparation de l'échantillon de la cire à observer

2. Évaluation de la meilleure concentration du NPc sur la cire de la cochenille

Le produit amélioré NPc (nouvelle formule), dont la composition est confidentielle, a été testé sur la cire à deux concentrations (1/10 et 1/20) en suivant le même protocole cité précédemment. Il a révélé des résultats satisfaisants sur la dégradation de la cire qui ont été comparés à un test témoin à l'eau du robinet.

III. Evaluation *in vitro* de l'action du NPc sur les différents stades du développement de la cochenille

1. Identification et isolement des différents stades de la cochenille

D'abord, une observation est faite sous loupe binoculaire afin de mieux distinguer les différents stades du développement de cochenille (œufs, nymphes mobiles, nymphes immobiles et femelles adultes), ensuite un isolement de ces stades a été fait.

2. Action du NPc sur le stade œuf

20 œufs ont été prélevés à partir des femelles isolées auparavant. Ces œufs sont placés dans des boîtes de Pétri, et pulvérisés par les trois concentrations du NPc diluées dans l'eau (1/300, 1/200 et 1/100) et les trois dilutions de Chlorpyrifos dans de l'eau avec 2% huile minérale (0,75 ml, 1,5 ml et 3 ml). Chaque test a été répété deux fois et conservé à température 25°.

Le traitement par pulvérisation a été évalué par le changement de couleur, la déformation et l'éclosion des œufs après 24 h.

3. Action du NPc sur le stade nymphe mobile

3.1. Traitement des nymphes mobiles par pulvérisation

Dans des boîtes de Pétri, 30 nymphes mobiles ont été isolées sur des portions de raquettes saines. 30 nymphes ont été traitées à l'eau, ou par trois concentrations du NPc dilués dans de l'eau (1/300, 1/200 et 1/100) ; ou par trois dilutions de Chlorpyrifos mélangées à 2% huile minérale (0,75 ml/L, 1,5 ml/L et 3 ml/L). Les tests ont été réalisés en Duplicate et les boîtes ont été conservées à température 25°C.

Le comptage de nymphes mobiles mortes (pas de mouvement) a été réalisé après 24h, 48h et 72h du traitement.

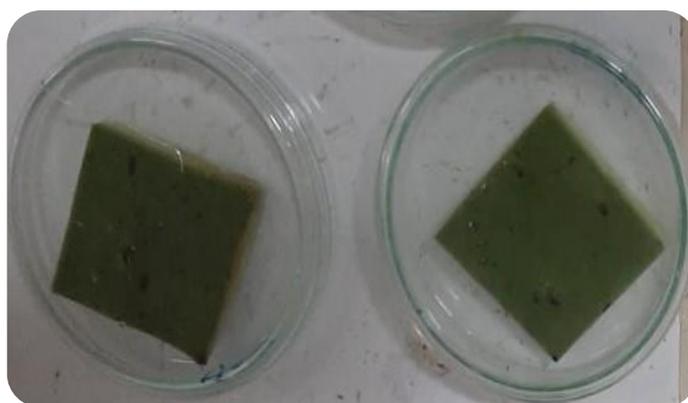


Figure 14 - Dispositif expérimental du traitement des nymphes mobiles par pulvérisation

3.2. Action de l'effet vapeur du NPc sur les nymphes mobiles

30 nymphes mobiles ont été isolées à partir des raquettes et enfermées dans les boîtes de Pétri. Un morceau de papier filtre imprégné à 5ml de trois concentrations du NPc diluées dans de l'eau (1/300, 1/200 et 1/100) et de trois dilutions de Chlorpyrifos dans de l'eau avec 2% huile minérale (0,75 ml, 1,5 ml et 3 ml) a été collé sur chaque boîte. La boîte témoin contient le papier filtre imprégné à l'eau du robinet. Chaque test a été répété deux fois et les boîtes de pétri sont incubées à température 25°C.

Le dénombrement des nymphes mobiles mortes (pas de mouvement) a été fait après 1h, 2h, 4h, 6h, et 24h du traitement.



Figure 15 - Dispositif expérimental du traitement des nymphes mobiles par l'effet vapeur

4. **Action du NPc sur le stade nymphe immobile**

Dans des boîtes de Pétri, 30 nymphes immobiles ont été isolées à partir des raquettes infestées et placées sur des portions de raquettes saines. Trois concentrations du NPc diluées dans de l'eau (1/300, 1/200 et 1/100) et trois dilutions de Chlorpyrifos dans de l'eau avec 2% huile minérale (0,75 ml, 1,5 ml et 3 ml), ont été pulvérisées sur les boîtes contenant chacune 30 nymphes immobiles et conservées à température 25°C. Chaque test a été réalisé en Duplicate.

L'effet du traitement a été évalué en comptant le nombre des nymphes immobiles déshydratées au bout de 72h.

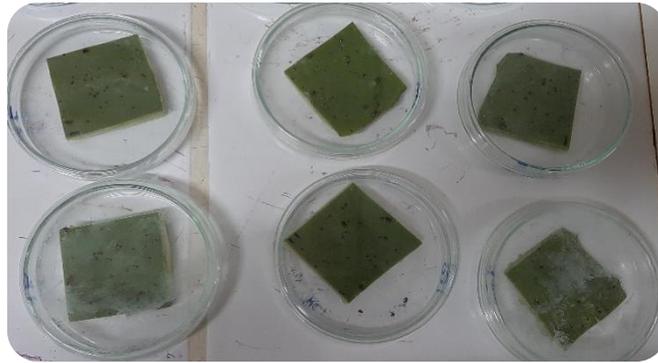


Figure 16 - Dispositif expérimental du traitement des nymphes immobiles par pulvérisation

5. Action du NPc sur le stade femelle adulte

5.1. Traitement des femelles par pulvérisation

Des portions de 5 cm² de raquettes saines ont été coupées et placées dans des boites de Pétri. 30 femelles adultes ont été isolées sur des raquettes infestées et placées sur ces portions de raquettes saines.

Ensuite, trois concentrations du NPc diluées dans de l'eau (1/300, 1/200 et 1/100) ; et trois dilutions de Chlorpyrifos dans de l'eau et 2% d'huile minérale (0,75 ml, 1,5 ml et 3 ml) ont été préparées. Chaque concentration a été pulvérisée sur deux boites sans oublier un test témoin à l'eau seule, puis les boites sont conservées à température 25°C. Le comptage des femelles pondeuses a été réalisé après 24h, 48h et 72h. Chaque test a été réalisé en Duplicate.

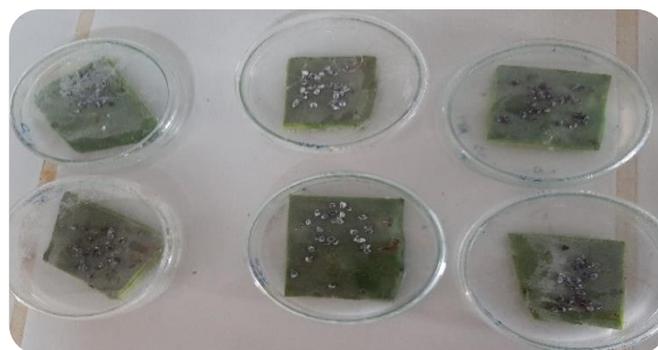


Figure 17 - Dispositif expérimental du traitement des femelles adultes par pulvérisation

5.2. Action de l'effet vapeur du NPc sur les femelles

Trois concentrations du NPc (1/300, 1/200 et 1/100) et trois dilutions de Chlorpyrifos diluées de l'eau avec 2% huile minérale (0,75 ml; 1,5 ml et 3 ml) ont été préparées dans des béchers. Un volume de 10 ml de chaque concentration a été prélevé puis coulé dans les boîtes de Pétri.

30 femelles adultes ont été isolées et placées sur des portions de raquettes mises en contact avec la solution afin d'observer l'effet vapeur des produits sur les femelles adultes. Ces tests ont été réalisés en Duplicate. La ponte des femelles a été évaluée toutes les 24h, 48h et 72h.

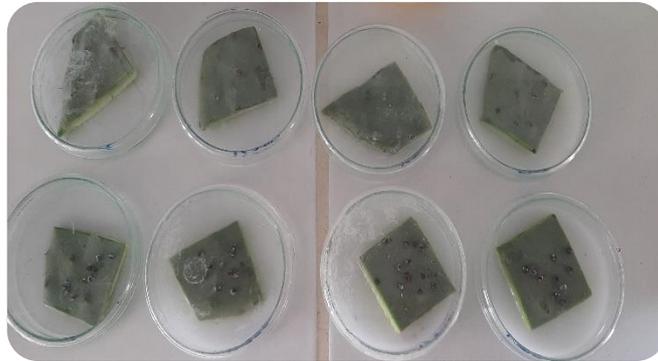


Figure 18 - Dispositif expérimental du traitement des femelles par effet vapeur

5.3. Effet du NPc sur la déshydratation des femelles

Dans des boîtes de Pétri, 10 femelles de même taille ont été pulvérisées avec l'une ou l'autre des trois concentrations du NPc (1/300, 1/200 et 1/100) ou par l'une ou l'autre des trois dilutions de Chlorpyrifos mélangées avec 2% huile minérale (0,75 ml/L, 1,5 ml/L et 3 ml/L). Après 24h, 3 femelles au hasard ont été prélevées et écrasées délicatement entre lame et lamelle afin d'évaluer le changement (atténuation de l'acide carminique) observé sous la loupe binoculaire et sous microscope après écrasement. Ce protocole a été répété sur trois autres femelles après 48h puis après 72h.

NB : les concentrations 1/300, 1/200 et 1/100 ont été préparées selon des volumes respectifs 3,33 ml, 5ml et 10ml diluées dans 1L d'eau.

IV. Evaluation *in situ* de l'action du NPc sur les raquettes de figuier de barbarie

Le traitement au terrain a été effectué sur un site situé aux alentours de la route AIN CHEKEF. Deux raquettes d'un pied de cactus infesté par la cochenille ont été choisies *Dactylopius coccus*, puis pulvérisées soit à l'eau ou soit NPc à la dilution de 1/10.

Les raquettes traitées ont été observées et comparées après 7, 15, 30 et 60 jours du traitement.



Figure 19 - Raquette choisie pour le traitement par l'eau



Figure 20 – Raquette choisie pour le traitement au NPc

Résultats

Cette partie est consacrée à évaluer l'action du NPc sur la dégradation de la cire blanche produite par la cochenille, sur la ponte des femelles, sur la mortalité des nymphes, sur la déshydratation des nymphes immobiles et l'éclosion des œufs.

Les résultats sont exprimés sous forme de valeurs moyennes et pourcentages, analysés par le test Student en utilisant le logiciel Microsoft Excel, puis modélisés dans des graphiques. Le degré de significativité est 5%.

I. Evaluation de l'action du NPc sur la cire blanche de la cochenille

Une observation visuelle (a) et microscopique (b) est faite sur un échantillon prélevé de la cire de cochenille traitée à l'eau, au NPc au 1/10 (100 ml/L) et au NPc au 1/20 (50 ml/L).

Traitement de la cire à l'eau



Figure 21-a - Observation à l'œil nu d'un tube à essai contenant un échantillon de cire traitée à l'eau



Figure 21-b - Observation sous microscope optique d'un échantillon de cire traitée à l'eau (grossissement x40)

Traitement au NPc au 1/10 (100ml/L)



Figure 22-a - Observation à l'œil nu d'un tube à essai contenant un échantillon de cire traité au NPc au 1/10



Figure 22-b - Observation sous microscope optique d'un échantillon de cire traité au NPc au 1/10 (grossissement x40)

Traitement par NPc au 1/20 (50ml/L)



Figure 23-a - Observation à l'œil nu d'un tube à essai contenant un échantillon de cire traité par NPc au 1/20



Figure 23-b - Observation sous microscope optique d'un échantillon de cire traité au NPc au 1/20 (grossissement x40)

Une observation visuelle (**a**) et microscopique (**b**) est faite d'un échantillon prélevé de la cire traitée à l'eau et au NPc. L'examen à l'œil nu (**Figure 22-a et 23-a**) du test 1/10 et 1/20 NPc montre une dissociation des filaments cireux blancs décantés au fond du tube. Par contre, les filaments traités à l'eau sont restés liés entre eux, non séparables et flottent toujours à la surface de l'eau (**Figure 21-a**).

En outre, l'examen des échantillons de la cire prélevées au microscope (**Figure 22-b**) après traitement au NPc au 1/10 présente des filaments ayant un aspect plus transparent et plus clair que ceux traités au NPc au 1/20 (**Figure 23-b**). Les échantillons traités à l'eau ont un aspect opaque et une couleur foncée qui ne laisse pas passer la lumière (**Figure 21-b**).

II. Evaluation de l'action du NPc sur les différents stades du développement de la cochenille

1. Evaluation de l'action du NPc sur le stade œuf

1.1. Effet de la pulvérisation du NPc sur les œufs

Le tableau 3 montre un suivi de 3 paramètres (pas de changement de la forme des œufs déformation et éclosion des œufs) en fonction des trois concentrations du NPc ou des trois concentrations du composé Chlorpyrifos + Huile Minérale.

Tableau 3 – Les changements observés sur les œufs après traitement au NPc sous loupe binoculaire

| | Avant traitement | | | Après 24h de traitement | | |
|--------------|--------------------------|-------------|----------|--------------------------|-------------|----------|
| | Pas déformation des œufs | Déformation | Eclosion | Pas déformation des œufs | Déformation | Eclosion |
| Témoin (eau) | 100% | 0 | 0 | 65% | 15% | 20% |
| 3,33ml/L NPc | 100% | 0 | 0 | 20% | 70% | 10% |
| 5ml/L NPC | 100% | 0 | 0 | 25% | 70% | 5% |
| 10ml/L NPc | 100% | 0 | 0 | 0 | 100% | 0 |
| 0,75ml/L Chl | 100% | 0 | 0 | 25% | 45% | 30% |
| 1,5ml/L Chl | 100% | 0 | 0 | 45% | 35% | 20% |
| 3ml/L Chl | 100% | 0 | 0 | 40% | 35% | 25% |

Le traitement à l'eau n'affecte pas la forme de 65% d'œufs, alors que 20% d'œufs ont donné naissance à des nymphes mobiles et 15% des œufs ont subi une déformation.

Les œufs traités au NPc à 10ml/L ont tous été déformés et y avait pas d'éclosion après 24h alors que pour les deux concentrations 5ml/L et 3,33ml/L, 70% des œufs ont subis une déformation, 10% une éclosion et 20% n'ont pas subi de changement. Le composé Chlorpyrifos + HM présente des déformations moins importantes (40%) par rapport au NPc (70%) mais un taux d'éclosion plus élevé (30%) que celui du NPc et du témoin (pulvérisé à l'eau du robinet).

1.2. Observation sous loupe binoculaire des œufs traités

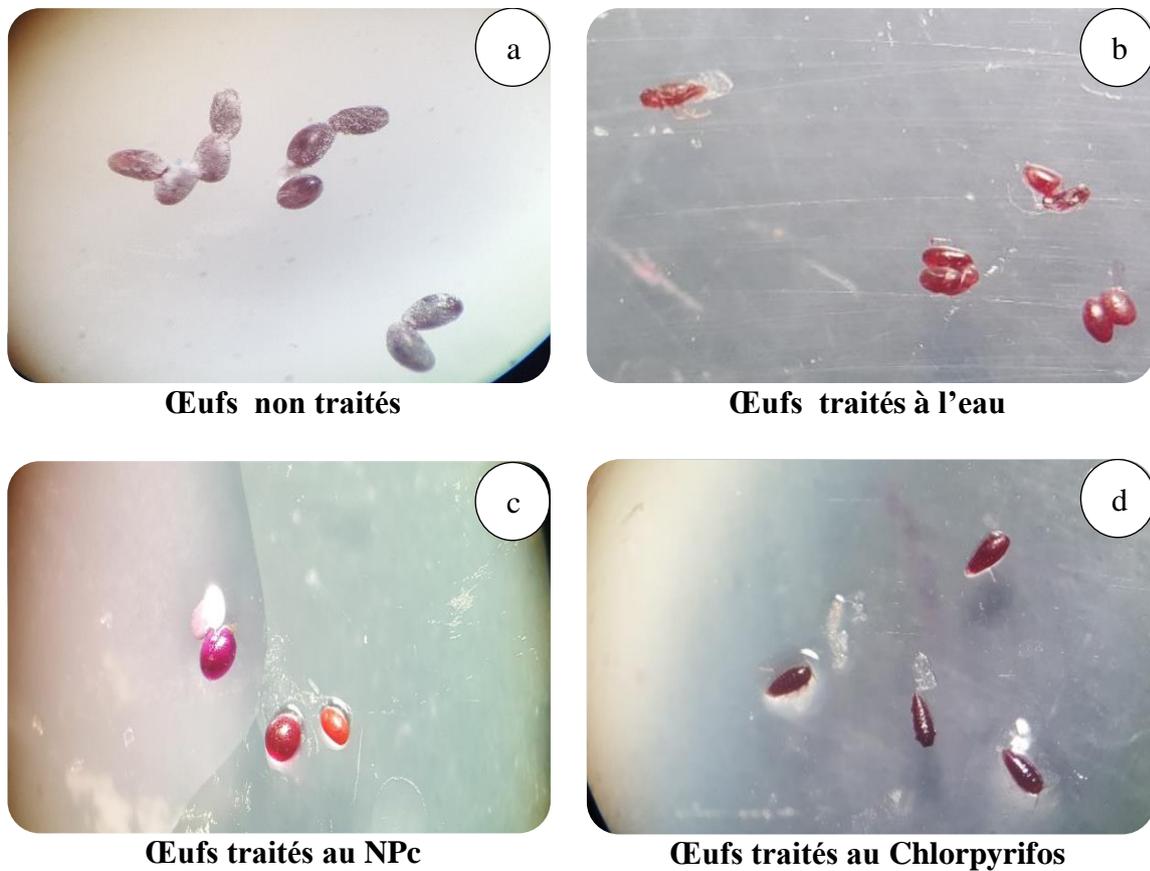


Figure 24- Observation sous loupe binoculaire des œufs traités par pulvérisation à l'eau (b), NPC (c) ou au composé Chlorpyrifos + HM (d) après 24h.

La figure 24 représente des œufs non traités et ceux traités à l'eau, au NPC ou au Chlorpyrifos + HM observés sous loupe binoculaire.

Les œufs traités à l'eau (**Figure 24-b**) ne montrent aucune différence au niveau de forme et de couleur avec ceux non traités (**Figure 24-a**), de même la cire est toujours présente.

L'observation des œufs pulvérisés au NPC (**Figure 24-c**) montre une absence totale de la cire qui couvre la surface des œufs ainsi qu'une déformation morphologique et un changement de couleur par rapport aux œufs traités au Chlorpyrifos + HM. Ces derniers ont subi une éclosion avec apparition des nymphes (**Figure 24-d**).

2. Evaluation de l'action du NPc sur le stade nymphe mobile

2.1. Effet par pulvérisation du NPc sur les nymphes mobiles

La figure 25 représente l'effet du biopesticide NPc et du Chlorpyrifos + HM sur la mortalité des nymphes mobiles en fonction du temps.

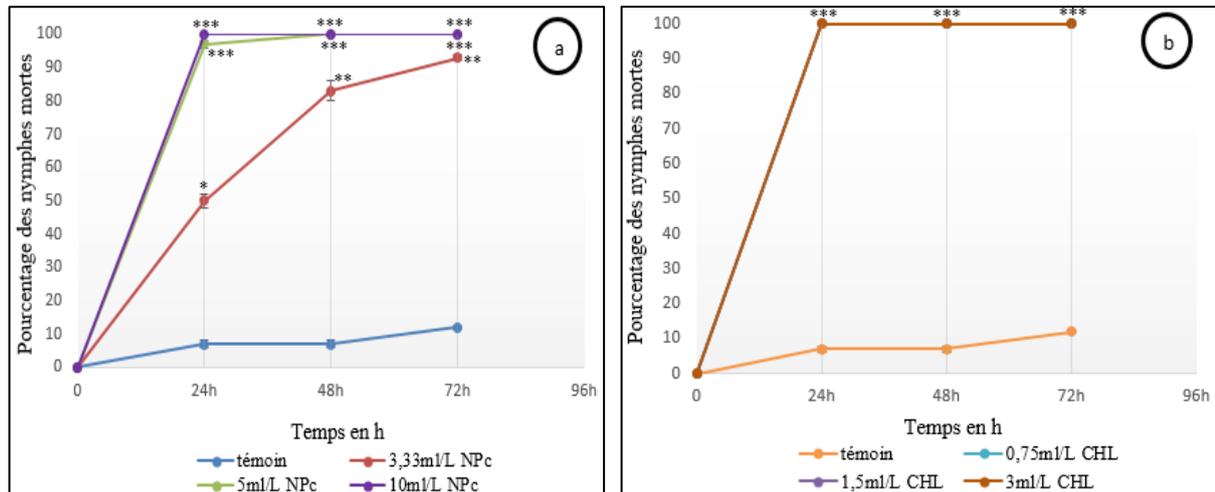


Figure 25 – Cinétique de l'effet insecticide du traitement par pulvérisation du NPc (a) ou du Chlorpyrifos + HM (b) sur la mortalité des nymphes

* $p < 0,05$: différence significative comparée à l'expérience témoin

** $p < 0,01$: différence très significative comparée à l'expérience témoin

*** $p < 0,001$: différence hautement significative comparée à l'expérience témoin

L'effet du NPc montre qu'il y'a une augmentation progressive du pourcentage des nymphes mortes en parallèle avec l'augmentation de la concentration du NPc (**Figure 25-a**). La concentration 10ml/L NPc présente une mortalité totale après 24h du traitement.

Le Chlorpyrifos s'avère plus efficace quel que soit la dilution utilisée (0,75ml/L, 1,5ml/L et 3ml/L), car le pourcentage de mortalité atteint 100% après 24h du traitement (**Figure 25-b**).

Sachant que le taux de mortalité atteint un pourcentage de 100% avec les dilutions du NPc (10ml/L) et du Chlorpyrifos + HM (0,75ml/L) en 24h du traitement. Nous avons réalisé un autre suivi en minutes durant cette période. Le graphe 25-c représente la cinétique de l'effet insecticide de la mortalité des nymphes pendant 20 minutes de traitement à l'eau, NPc et Chlorpyrifos.

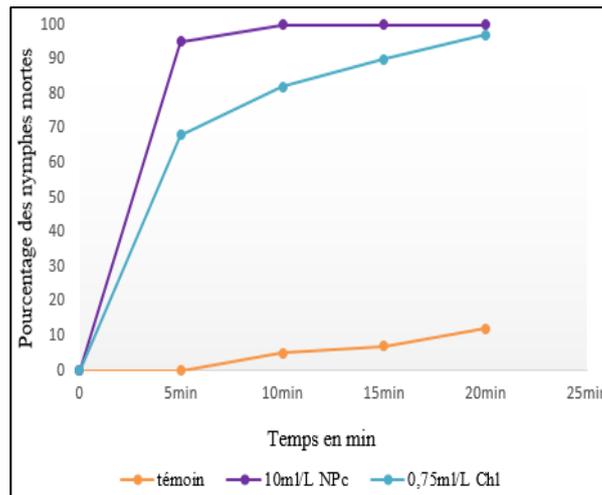


Figure 25 –c – Cinétique de l'effet insecticide du traitement par pulvérisation du NPc et du Chlorpyrifos + HM sur la mortalité des nymphes durant 20 min

Le taux de mortalité des nymphes atteint 100% avec les dilutions 10ml/L du NPc et 0,75 ml/L du Chlorpyrifos + HM respectivement en 10min et en 20 min du traitement.

2.2. Effet vapeur du NPc sur les nymphes mobiles

Les résultats présentés sur la figure 26 montrent un effet plus prononcé sur la mortalité des nymphes.

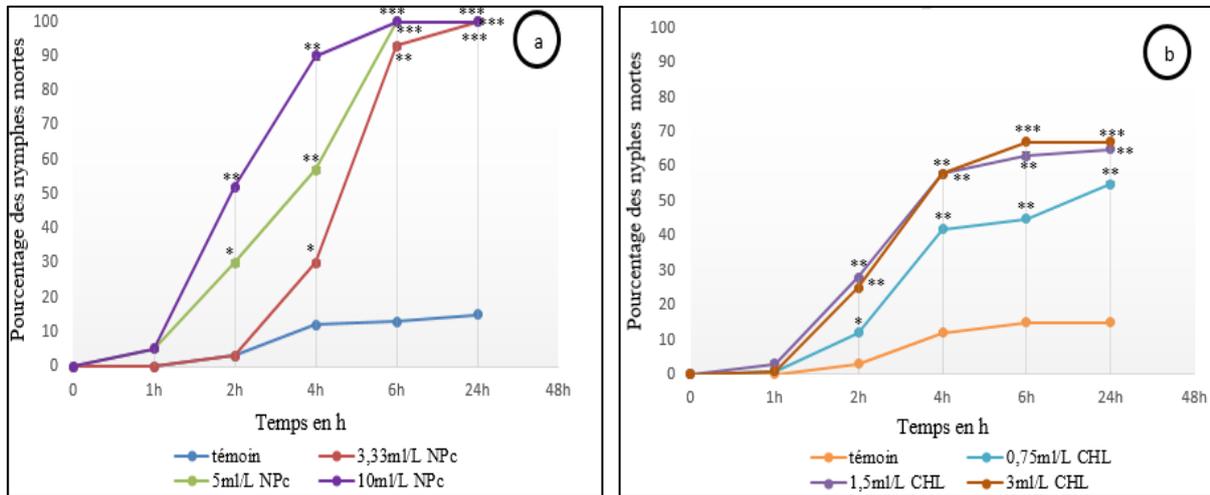


Figure 26 – Cinétique de l'effet vapeur du NPc (a) et du Chlorpyrifos + HM (b) sur la mortalité des nymphes

En effet, le pourcentage de mortalité (**Figure 26-a**) augmente au fur à mesure que la concentration du NPc augmente. Les concentrations 5ml/L et 10ml/L NPc présentent une mortalité totale après 6 h du traitement, alors qu'à la concentration du NPc 3,33ml/L, la mortalité n'atteint **100%** qu'après 24h.

Le Chlorpyrifos semble être moins efficace que le NPc. Les résultats du traitement par **1,5ml/L** et **3ml/L** du Chlorpyrifos (**Figure 26-b**) montrent un pourcentage de mortalité plus important (70%) qu'à la dose de **0,75ml/L**, mais il n'atteint pas 100% même après 24h du traitement.

2.3. Observation sous loupe binoculaire des nymphes mobiles traitées

La Figure 27 montre la déshydratation des nymphes mobiles après 72h du traitement.

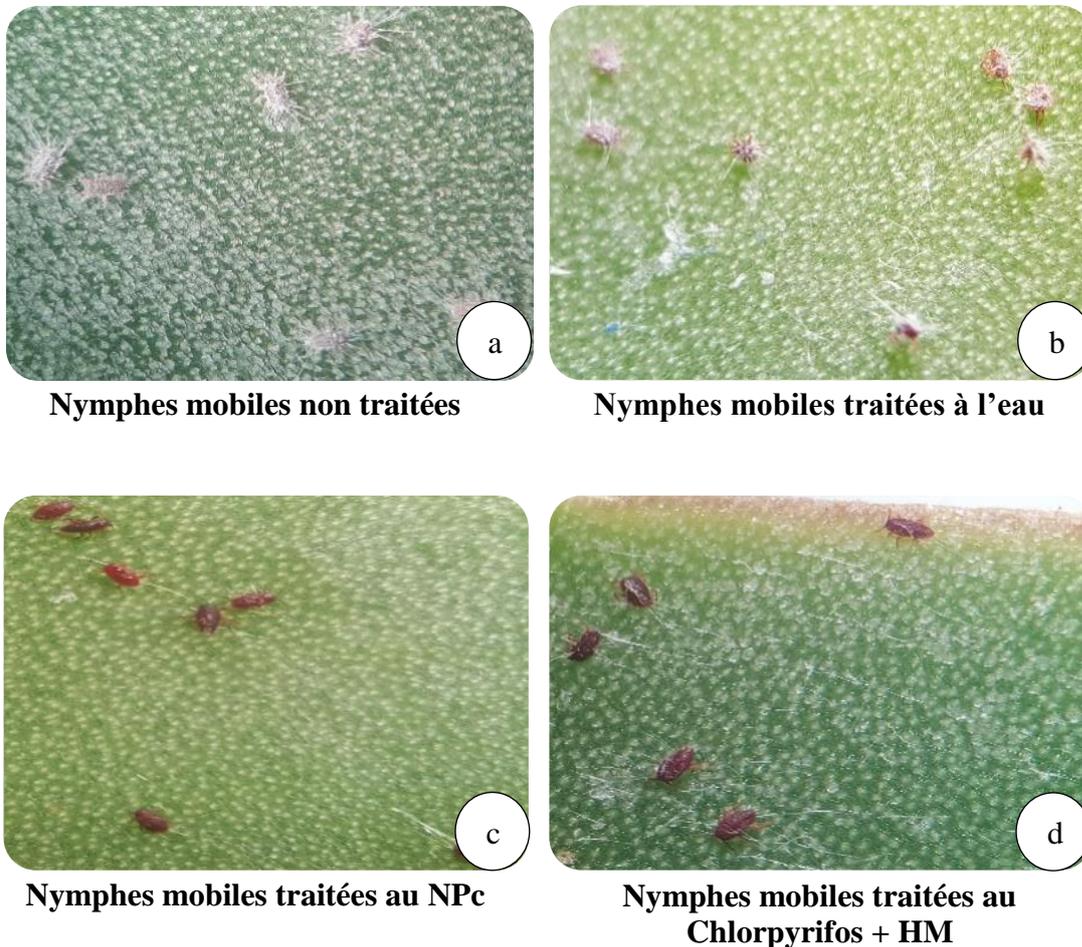


Figure 27 - Observation sous loupe binoculaire de la déshydratation des nymphes mobiles traitées par pulvérisation à l'eau (b), au NPc (c) ou au Chlorpyrifos + HM (d) après 72h

Le traitement à l'eau n'a aucun effet sur la dégradation de la cire ni sur la déshydratation des nymphes (**Figure 27-b**). Ces derniers ne montrent aucun changement et aucune différence morphologique. Par contre, les nymphes traitées au NPc (**Figure 27-c**) ou au Chlorpyrifos + HM (**Figure 27-d**) présentent une légère disparition de la cire blanche et une déshydratation de la majorité des nymphes après 72 h de traitement.

3. Evaluation de l'action du NPc sur le stade nymphe immobile

3.1. Effet par pulvérisation du NPc sur les nymphes immobiles

Les résultats obtenus sur l'activité insecticide sur les nymphes sont représentés sur la figure 28 après 72h du traitement.

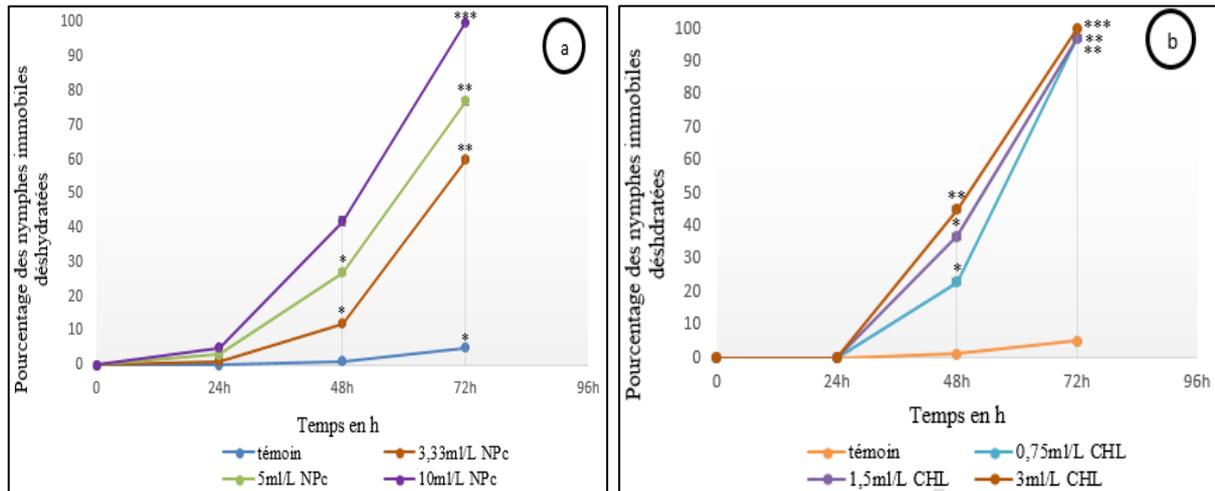


Figure 28 – Cinétique de l'activité insecticide du traitement par pulvérisation du NPc (a) et du Chlorpyrifos + HM (b)

La figure 28-a montre que le pourcentage de déshydratation des nymphes immobiles augmente au fur à mesure que la concentration du NPc augmente. La déshydratation démarre dès les 1^{ères} heures du traitement au NPc à 10ml/L et atteint 100% après 72h, en comparaison avec ceux traitées à l'eau qui, apparemment n'a pas d'effet sur la déshydratation.

L'effet du Chlorpyrifos représenté sur la figure 28-b apparait après 24h sur les nymphes immobiles. Le pourcentage de la déshydratation reste négligeable les 1^{ères} heures et augmente progressivement juste après 24h du traitement à la dose 0,75ml/L.

3.2. Observation sous loupe binoculaire des nymphes immobiles traitées

La figure 29 représente l'observation sous loupe binoculaire des nymphes immobiles déshydratées traitées à l'eau, au NPc ou au Chlorpyrifos + HM.

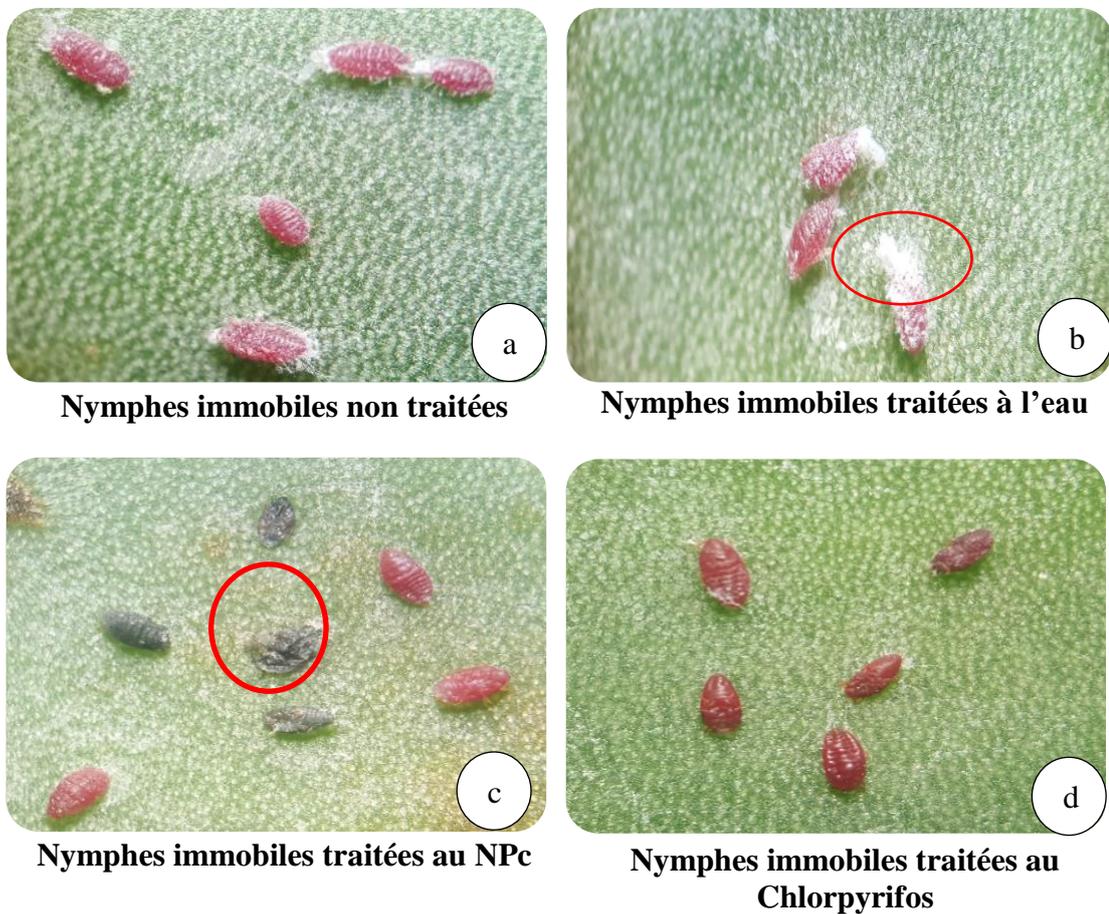


Figure 29 - Observation sous loupe binoculaire de la déshydratation des nymphes immobiles après 72h du traitement à l'eau (b), au NPc (c) ou au Chlorpyrifos + HM (d)

Les nymphes immobiles traitées à l'eau (**Figure 29-b**) n'ont montré aucun changement morphologique par rapport à celles non traitées (**Figure 29-a**). Sur les nymphes traitées au NPc (**Figure 29-c**), nous avons constaté une absence totale de la cire protectrice et une déshydratation de la majorité des nymphes après 72h de traitement.

Par contre, les nymphes traitées au Chlorpyrifos et l'HM montrent la présence des filaments cireux à la surface du corps et un léger changement au niveau de la couleur des nymphes (**Figure 29-d**).

4. Evaluation de l'effet du NPC sur le stade femelle adulte

4.1. Effet par pulvérisation du NPC sur les femelles adultes

La figure 30 représente le pourcentage d'inhibition de la ponte des femelles adultes durant 72h de traitement par pulvérisation à l'eau (témoin) et aux trois concentrations du NPC et du composé Chlorpyrifos et l'HM

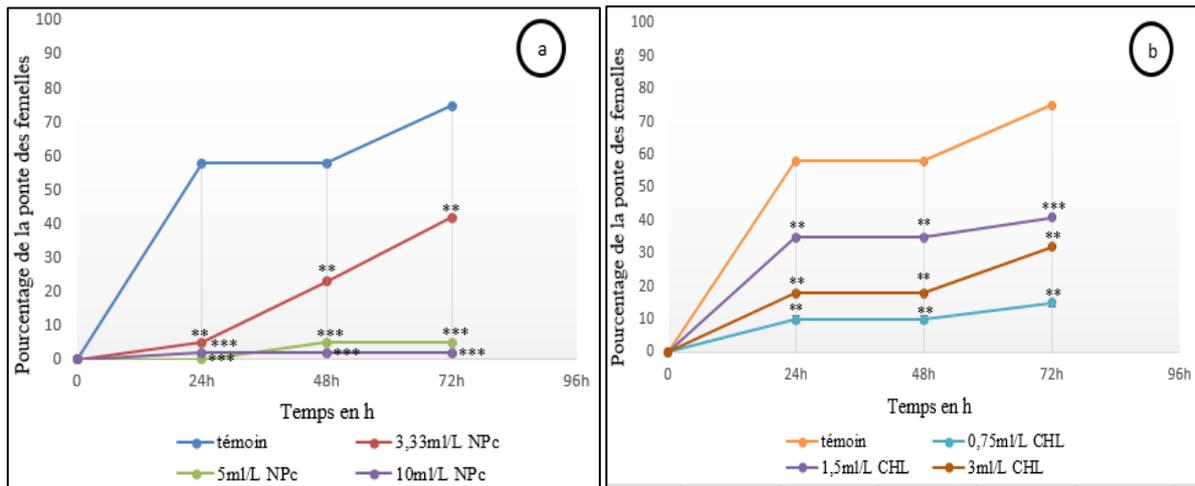


Figure 30 – Cinétique de l'effet insecticide du NPC (a) et du composé Chlorpyrifos + HM sur l'inhibition de la ponte des femelles adultes (b)

La figure 30-a montre que, quelle que soit la concentration de NPC utilisée, il y a un effet important sur l'inhibition de la ponte des femelles. Les femelles traitées à l'eau ont atteint 80% de ponte après 72h. La concentration 10ml/L du NPC présente une inhibition totale de la ponte des femelles après 24h du traitement seulement.

Les femelles traitées à la dose de Chlorpyrifos préconisée (0,75ml/L) (**Figure 30-b**) présentent une diminution importante de la ponte après 72h, cette ponte n'atteint pas les 20%. Les doses 1,5ml/L et 3ml/L sont moins efficaces que la dose préconisée.

4.2. Effet vapeur du NPc sur les femelles adultes

Les résultats ont été exprimés sous forme de graphes représentant l'effet du NPc (a) et du Chlorpyrifos (b) sur l'inhibition de la ponte des femelles.

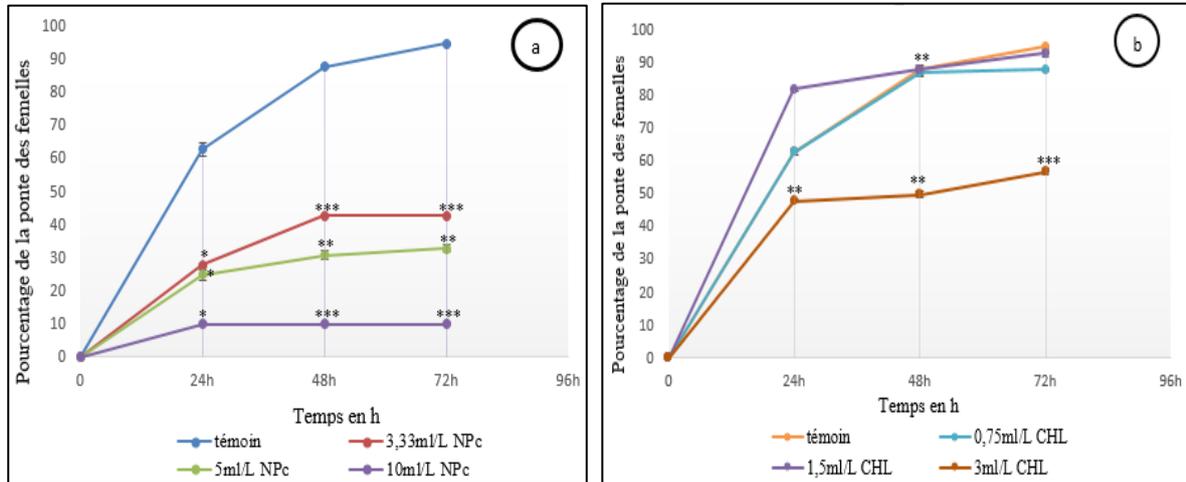


Figure 31 – Cinétique de l'activité insecticide de NPc (a) et du Chlorpyrifos + HM (b) sur l'inhibition de la ponte des femelles adultes

La figure **31-a** montre une inhibition importante de la ponte des femelles traitées à 10ml/L de NPc qui atteint 10% de la ponte après 72h, alors que le traitement aux concentrations plus faibles du NPc (10ml/L >>> 5ml/L et 3,33ml/L) peut atteindre les 40% de ponte.

Les résultats obtenus avec le Chlorpyrifos (**Figure 31-b**) présentent une augmentation du pourcentage de la ponte des femelles de l'ordre de 60 à 90% après 72h quelle que soit la dose utilisée, de même le traitement à l'eau n'a aucun effet sur la ponte des œufs.

4.3. Observation sous loupe binoculaire des femelles adultes traitées

Les résultats de l'inhibition de la ponte des femelles de *Dactylopius Coccus* par pulvérisation sont illustrés en images capturées sous loupe binoculaire (**Figure 32**).

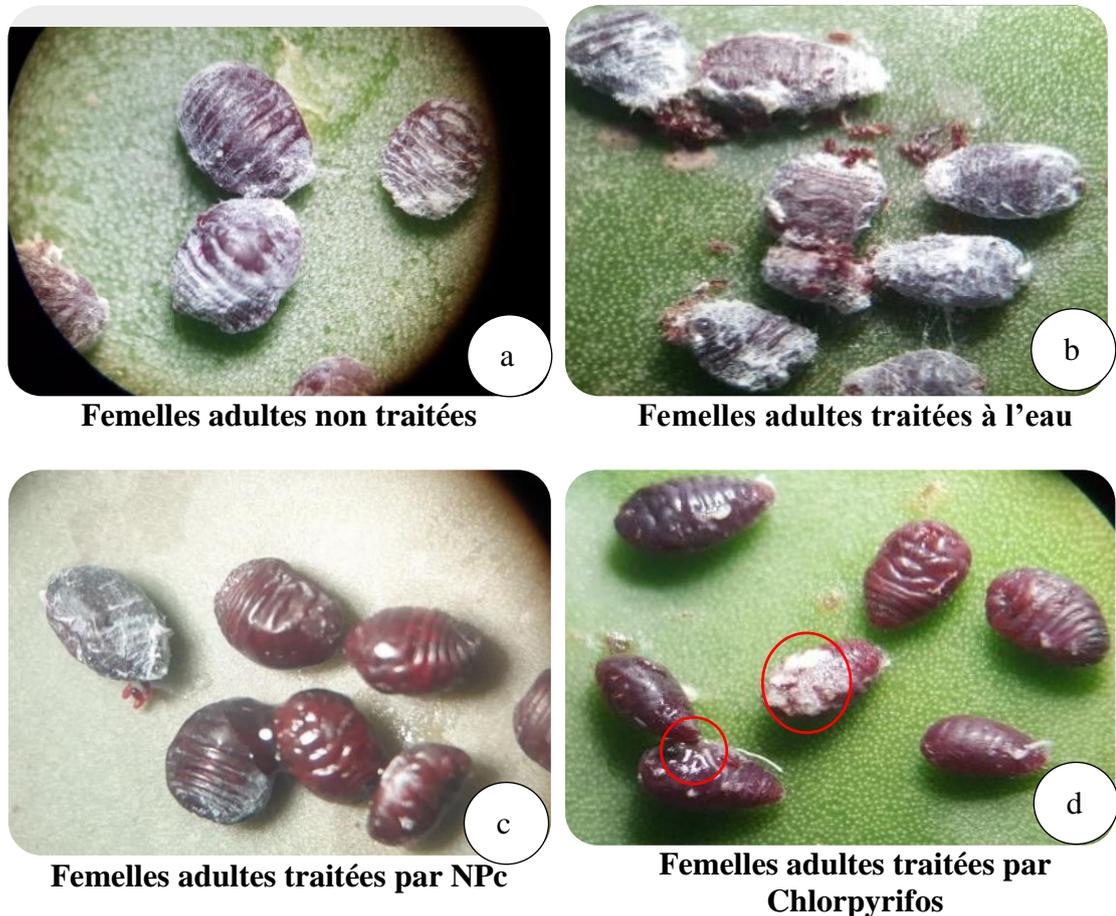


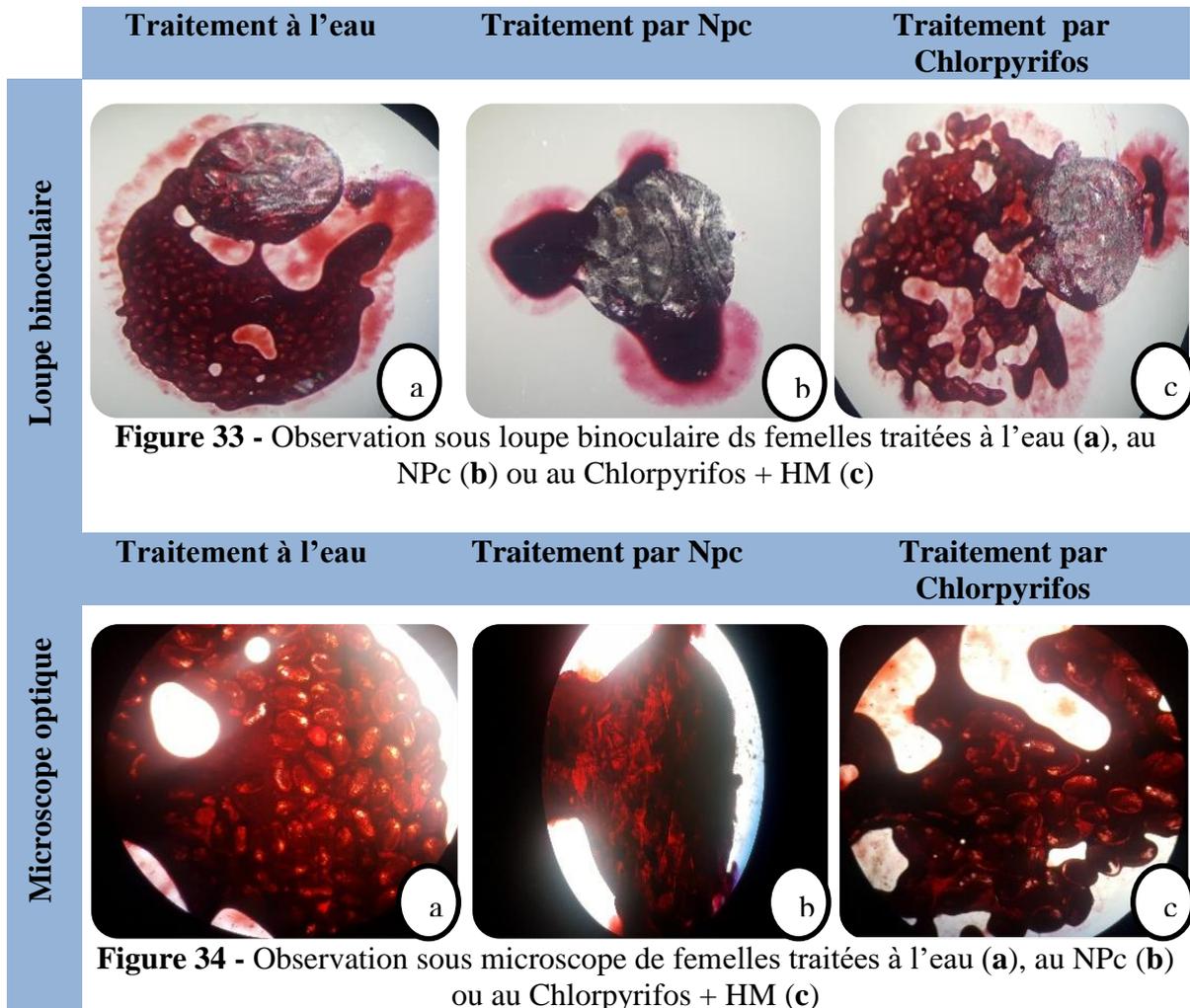
Figure 32 - Observation sous loupe binoculaire de la ponte et la déshydratation des femelles après 72h du traitement à l'eau (**b**), au NPc (**c**) ou au Chlorpyrifos + HM (**d**)

La pulvérisation à l'eau, comme indiqué auparavant n'a pas d'effet sur la ponte des femelles, la figure **32-b** montre des œufs pondus au bout de 72h de traitement ainsi que la présence de la cire blanche qui couvre le corps de la femelle et la surface des œufs. Alors que le traitement au NPc à 10ml/L (**Figure 32-c**), montre après 72h une absence complète de la ponte des œufs avec disparition de la cire blanche qui couvre la femelle. Nous avons également marqué un léger changement au niveau de la couleur des femelles.

Le Chlorpyrifos a peu d'effet sur l'inhibition de la ponte. La figure **32-d** montre la présence d'œufs et de filaments de cire collés à la surface des femelles.

4.4. Effet du NPc sur la déshydratation des femelles adultes

Une observation à la loupe binoculaire (**Figure 33**) et sous microscope optique des femelles (**Figure 34**) après 72 h de traitement montre que les femelles traitées au NPc, ont mieux répondu à ce traitement que celles traitées à l'eau ou au Chlorpyrifos + HM.



L'examen des femelles écrasées montre que:

- ✓ Les femelles traitées à l'eau (**Figure 33-a et 34-a**) présentent un excès d'acide carminique chargé d'une centaine d'œufs.
- ✓ Les femelles traitées au NPc (**Figure 33-b et 34-b**) sont déshydratées, le corps déverse quelques gouttes d'acide carminique avec un nombre négligeable d'œufs observées au microscope.
- ✓ Les femelles traitées au Chlorpyrifos (**Figure 33-c et 34-c**) indiquent qu'une faible quantité d'acide carminique s'écoule après écrasement.

III. Evaluation *in situ* de l'action du NPc sur les raquettes de figuier de barbarie

Une raquette a été pulvérisée à l'eau dont les résultats enregistrés lors d'un suivi de 60 jours sont les suivants :



Raquette avant traitement



Raquette juste après traitement



Raquette 7 jours après traitement



Raquette 15 jours après traitement



Raquette 30 jours après traitement



Raquette 60 jours après traitement

Figure 35 : Suivi de l'état de la raquette après traitement à l'eau

La pulvérisation avec de l'eau n'a aucun effet sur la raquette après 60 jours du traitement. La cochenille est toujours présente, elle s'est étalée davantage sur la surface des raquettes.

Une deuxième raquette a été pulvérisée au biopesticide NPc à la concentration létale 1/10 déterminée à partir des tests *in vitro*. Les résultats enregistrés lors d'un suivi de 60 jours sont les suivants :



Raquette avant traitement



Raquette juste après traitement



Raquette 7 jours après traitement



Raquette 15 jours après traitement



Raquette 30 jours après traitement



Raquette 60 jours après traitement

Figure 36 : Suivi de l'état de la raquette après traitement au NPc

La pulvérisation à la dose létale de NPc au 1/10 montre un effet très remarquable sur l'infestation par la cochenille. La dégradation complète de la couche de cire protectrice permet de visualiser les cochenilles normalement cachées par l'amas cireux. Les cochenilles sont déshydratées par le NPc et marquent des tâches de jaunissement sur les raquettes.

Discussion

L'agriculture marocaine est considérée parmi les secteurs ayant accompli de grands progrès de développement et de diversification agricole ces dernières années. Au Maroc, la culture du Cactus présente une importance socio-économique pour les agriculteurs et les populations rurales grâce à sa résistance à la sécheresse, à sa production des fruits, et de fourrage pour le bétail.

Cependant, la culture du cactus revêt un grand intérêt de la part des agriculteurs à cause d'une maladie causée par la cochenille qui affecte le rendement et la qualité des fruits et finit par détruire la plante entière. Cet insecte a fait son apparition dans la région de Sidi Bennour mais actuellement, il prolifère de manière incontrôlable et s'étend dans plusieurs zones agricoles du royaume. Il envahit des champs de Cactus en causant des pertes énormes pour les agriculteurs.

Plusieurs stratégies font l'objet de lutte contre la propagation de cette cochenille : le déracinement des cactus infestés par la cochenille, les traitements biologiques, les insecticides tels que le Chlorpyrifos et l'huile minérale qui provoquent des effets graves, ont été interdits dans plusieurs pays pour des raisons de toxicité pour le consommateur et pour l'environnement. De même l'exposition chronique à ce pesticide agit sur le système nerveux et respiratoire (**Samuel. et St-Laurent, 2001**). Ajouter à cela, l'apparition de cochenille de plus en plus résistante aux doses autorisées de ces insecticides.

Notre laboratoire a développé un produit naturel à base d'huiles essentielles nommé NPc, une solution alternative des produits chimiques ayant le même effet insecticide sur la cochenille à un prix acceptable, mais dépourvue de toxicité pour la santé humaine et pour l'environnement.

C'est pourquoi nous avons procédé à tester dans un 1^{er} temps ce biopesticide (NPc) sur un échantillon de cire protectrice prélevé sur la cochenille, ensuite nous avons isolé les différents stades du développement de l'insecte *Dactylopius Coccus*. Nous avons comparé l'effet insecticide du NPc à celui du Chlorpyrifos sur les changements observés durant les stades du développement de l'insecte, et enfin, nous avons testé l'effet du NPc sur le terrain.

I. Evaluation *in vitro* de l'action du NPc sur la cire protectrice de la cochenille

Dans notre contexte, l'étude faite par **Korchi (2020)** sur l'évaluation d'un biopesticide NPc (ancienne formule) sur la cochenille a montré que la cire présente sur les raquettes du Cactus a partiellement altéré la couche de cire qui protège toujours l'insecte *Dactylopius Coccus*. Celui-ci sécrète des filaments cireux contre la pluie, le soleil, les prédateurs et les traitements (**Morrison, 1984**). Nous avons alors travaillé sur la dégradation de cette cire en premier pour faciliter l'accès à l'insecte *D. coccus* afin d'arrêter sa propagation.

L'évaluation de la dégradation de la cire a consisté en premier de développer une nouvelle formule du NPc améliorée qui sera testée sur un échantillon de la cire de la cochenille, puis observé à l'œil nu et sous microscope optique, les changements (couleur, transparence ou opacité, perméabilité ou imperméabilité des filaments) après l'ajout de l'eau ou du NPc amélioré.

Les filaments cireux de *D.coccus* imbibés dans le produit NPc a donné des résultats qui montrent que ces filaments se sont dissociés et devenus perméables avec un aspect transparent qui a permis de visualiser les nymphes présentes à l'intérieur du cocon cireux. Le produit NPc amélioré dégrade donc, les filaments cireux de la cochenille, ce qui facilite l'élimination de l'insecte.

II. Evaluation *in vitro* de l'activité insecticide du NPc sur les stades de la cochenille

Nous avons isolé et identifié quatre stades de développement de la cochenille, sur lesquelles nous avons testé le NPc *in vitro* en utilisant différentes concentrations.

Le stade œuf

La femelle Cochenille pond des centaines d'œufs qui éclosent pendant 24h, puis donnent des nymphes qui au terme de leur 2^{ème} stade vont se transformer en nymphes immobiles, lesquelles donneront à leur tour des adultes males ou adultes femelles, c'est-à-dire des insectes adultes et donc aptes à se reproduire (**Mann, J. 1969**).

Le seul moyen de diminuer la propagation de la cochenille, est de s'attaquer aux œufs et de stopper leur éclosion. C'est pour cette raison que nous avons opté pour une méthode plus simple et plus fiable pour évaluer l'action du NPc amélioré sur les œufs. Ces derniers ont été isolés, puis pulvérisés à l'eau, au NPc et au Chlorpyrifos + HM et ensuite observés après 24h sous loupe binoculaire pour constater les changements survenus.

Après pulvérisation à l'eau seule, la majorité des œufs pondus (85%) deviennent des nymphes mobiles au bout de 24 h. Pour les œufs traités à différentes concentrations du NPc (nouvelle formule) (3,33 ml/L, 5 ml/L et 10 ml/L), 70% et 100% d'œufs ont été déformés après 24 h du traitement. L'observation sous loupe binoculaire indique ainsi la disparition de la cire qui couvre les œufs. Ceci permet de dire que NPc à la dose 10ml/L exerce une action insecticide sur les œufs, et met fin au cycle de vie de la cochenille.

En effet, ces résultats différents de ceux obtenus avec un autre produit NPc (ancienne formule) testé sur la cochenille *Dactylopius Coccus*, réalisé par Korchi (2020) dont l'effet n'a montré d'efficacité qu'avec des concentrations plus élevées (15 ml/L et 20 ml/L).

Le traitement au Chlorpyrifos + HM à la dose préconisée par le fabricant (0,75ml/l) a montré moins d'efficacité sur l'inhibition de l'éclosion (30%) que le NPc amélioré.

Le stade nymphe mobile

Après éclosion, les nymphes s'éloignent de la mère pour trouver des raquettes jeunes et saines du même pied ou sur un autre pied où elles peuvent s'installer pour finir leur cycle de vie. Ce stade est la période du cycle de vie où le vent et les courants d'air jouent un rôle dans la dispersion des nymphes mobiles transportés par les filaments de cire (**Pérez Guerra, 1991**).

Donc pour inhiber la croissance de ces nymphes, nous avons testé par pulvérisation et par effet vapeur l'action du NPc et du Chlorpyrifos. La mortalité des nymphes s'est manifestée par l'arrêt du mouvement et la déshydratation. Le taux de la mortalité augmente avec l'augmentation de la concentration du NPc, nous avons constaté que la concentration 10ml/L est la plus adéquate pour arriver à une mortalité totale des nymphes après 24 h de traitement, plus précisément après 10 min du traitement.

Le traitement des nymphes par effet vapeur montre que NPc à la dose de 10ml/L engendre un taux de mortalité de 100% après 6h. L'observation faite sous loupe binoculaire des nymphes traitées au NPc confirme que le produit agit sur la dégradation de la cire présente à la surface des nymphes mobiles et même sur la déshydratation de leurs corps.

En effet, le Chlorpyrifos à la dose 0,75ml/L reflète une action d'inhibition totale des nymphes qui apparait à travers les courbes. Les travaux réalisées par Korchi (2020) ont montré que les doses 15ml/L et 20ml/L d'un autre NPc (ancienne formule) provoquent la mort de la totalité des nymphes.

Nous constatons que le biopesticide NPc amélioré est plus efficace et plus rapide à des concentrations plus faibles (5ml/L et 10ml/L) sachant que le NPc (nouvelle formule) est un biopesticide qui n'a aucun effet négatif ni sur l'agriculteur, ni sur le consommateur ni sur l'environnement. Alors que le Chlorpyrifos est un pesticide connu par sa dangerosité et est interdit dans le reste du monde.

Le stade nymphe immobile

Le stade immobile se fixe sur les raquettes et se différencie en male qui va se développer pour assurer la fécondation et la femelle pour assurer la ponte des œufs (**Pérez Guerra, 1991**).

Le traitement des nymphes immobiles par pulvérisation montre que le pourcentage des nymphes déshydratées augmente au fur à mesure que la concentration du NPc augmente. La concentration 10ml/L a donné les meilleurs résultats avec 100% de déshydratation après 72 h de traitement. En fait, le NPc amélioré agit non seulement sur la déshydratation des nymphes mais aussi sur la dégradation de la cire à la surface des nymphes.

La vitesse d'action du Chlorpyrifos + HM est moins rapide que celle du NPc amélioré. Ce dernier est plus efficace sur la déshydratation des nymphes immobiles.

Le stade femelle adulte

Après la fécondation, les femelles augmentent de taille et commencent à pondre des œufs. La femelle peut pondre 300 à 500 œufs durant sa vie (**Pérez Guerra, 1991**). Le traitement des femelles adultes par pulvérisation met en évidence l'effet insecticide croissant parallèlement aux concentrations utilisées du NPc. La concentration 10ml/L aboutit à une inhibition complète de la ponte des femelles. Le traitement par effet vapeur inhibe 90% de la ponte après 72 h, les femelles de *Dactylopius Coccus* sont donc sensibles aux vapeurs dégagés par les composants du NPc. L'effet insecticide est dû à la présence des huiles essentielles dans le NPc. Ces huiles essentielles sont un mélange de divers principes actifs contenus dans les plantes comme moyen de défense contre les ravageurs. De plus, la dose 10ml/L du NPc amélioré favorise la déshydratation du corps des femelles et le dessèchement de l'acide carminique.

Nos résultats montrent que le NPc (nouvelle formule) est plus efficace sur la ponte des femelles à des concentrations plus raisonnables (5ml/L et 10ml/L) que le Chlorpyrifos car l'effet du Chlorpyrifos + HM par pulvérisation ou par effet vapeur n'est pas suffisant pour induire un effet létal total sur l'inhibition la ponte des femelles même après 72 h de traitement et sur la dégradation la cire qui couvre la femelle.

Les résultats obtenus *in vitro* nous ont alors encouragés à faire des essais sur les raquettes du cactus sur le terrain.

III. Evaluation *in situ* de l'action du NPc sur les raquettes de figuier de barbarie

L'évaluation *in vitro* nous a permis de déterminer la meilleure concentration pour la lutte contre la cochenille.

Les résultats obtenus montrent que le NPc amélioré exerce une action insecticide rapide sur le développement de la cochenille, et la dégradation de la cire protectrice en laissant apparaître les zones de jaunissement sur les raquettes du figuier de barbarie causées par la cochenille. Ce jaunissement est dû au manque de la chlorophylle qui absorbe la lumière lors du processus de la photosynthèse.

Conclusion générale

Dans le présent travail, nous avons testé *in vitro* et *in situ* l'activité insecticide du biopesticide NPc sur la cochenille responsable des dégâts anormaux et incontrôlables sur la culture du Cactus. Ce produit a été mis au point dans le but de développer une solution naturelle utilisée en agriculture qui ne représente aucun danger ni pour l'environnement ni pour la santé humaine.

Les résultats obtenus de l'évaluation *in vitro* et *in situ* de l'action du NPc ont montré que la dose létale 10ml/L du NPc est efficace pour la dégradation de la cire protectrice et l'inhibition complète des différents stades du développement de la cochenille. Ceci a fait que les huiles essentielles possèdent des propriétés insecticides pour lutter contre les ravageurs et les maladies. En outre, les huiles essentielles sont biodégradables.

Par conséquent, il est indispensable de sensibiliser les agriculteurs de privilégier l'utilisation des biopesticides au lieu des pesticides chimiques en présentant les arguments et les résultats obtenus lors de cette étude pour prévenir la maladie du Cactus et pour développer une agriculture saine aux futures générations.

Les perspectives sont encore nombreuses sur ce sujet, notamment ; il serait intéressant de :

- ✓ Tester le NPc sur d'autres cultures telles que le palmier dattier
- ✓ Tester la résistance au biopesticide NPc chez la cochenille

Références bibliographiques

- Ayadi, M.A., Abdelmaksoud, W., Ennouri, M. & Attia, H. 2009.** Cladodes from *Opuntia ficus-indica* as a source of dietary fiber: Effect on dough characteristics and cake making. *Ind. Crops Prod.*, 30: 40–47
- Badii, M. H., & Flores, A. E. 2001.** Prickly pear cacti pests and their control in Mexico. *Florida Entomologist*, 503-505
- Boudilmi, I., & Mehouas, Y. 2020.** Huile essentielle de figue de barbarie (*Opuntia ficus-indica*) (Doctoral dissertation, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA).
- Cherif Benismail, M., Mokhtari, M., & Arba, M. 2000, October.** The Cactus Pear (*Opuntia* spp.) in Morocco: Main Species and Cultivar Characterization. In IV International Congress on Cactus Pear and Cochineal 581pp. 103-109.
- Cruz-Rodríguez, J. A., González-Machorro, E., Villegas González, A. A., Rodríguez Ramírez, M. L., & Mejía Lara, F. 2016.** Autonomous biological control of *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) in a prickly pear plantation with ecological management. *Environmental Entomology*, 45(3), 642-648.
- Dodd, A.P. 1940.** The biological campaign against prickly pear. Commonwealth Prickly Pear Board Bulletin. Brisbane, Australia, Government Printer. 177 pp
- Ennouri, M., Evelyne, B., Laurence, M. & Hamadi, A. 2005.** Fatty acid composition and rheological behaviour of prickly pear seed oils. *Food Chem.*, 93: 431–437
- Flores Hernandez, A., Murillo Amador, B., Rueda Puente, E., Salazar Torres, J., Garcia Hernandez, J.L. & Troyo Dieguez, E. 2006.** Reproduccion de cochinilla silvestre *Dactylopius opuntiae* (Homoptera: Dactylopiidae). *Rev. Mex. Biodivers.*, 77: 97–102
- Fouqué, A. 1972.** Espèces fruitières d'Amérique tropicale: famille des cactacées.
- Jurewicz, J., & Hanke, W. 2008.** Prenatal and childhood exposure to pesticides and neurobehavioral development: review of epidemiological studies. *International journal of occupational medicine and environmental health*, 21(2), 121-132.
- Korchi I.2020.** Mémoire de fin d'études Master Gestion et Conservation de la biodiversité à la faculté des Sciences et techniques de Fès « Étude de l'infection de cactus par la cochenille ».

Kumar, S. 2012. Biopesticides: a need for food and environmental safety. *J Biofertil Biopestic*, 3(4), 1-3.

Le Houérou, H. N. 1996. The role of cacti (*Opuntiaspp.*) in erosion control, land reclamation, rehabilitation and agricultural development in the Mediterranean Basin. *Journal of Arid Environments*, 33(2), 135-159.

Lerch, A. 1953. Cactacées. *Bulletin du Cercle vaudois de botanique*. 4, 8-10.

Mann, J. 1969. Cactus-feeding insects and mites. Bulletin 256. Washington, DC, United States National Museum. 158 pp

Mazzeo, G., Nucifora, S., Russo, A., & Suma, P. 2019. *Dactylopius opuntiae*, a new prickly pear cactus pest in the Mediterranean: an overview. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 167(1), 59-72.

Morales, M., Sáenz, C. & Robert, P. 2009. Bioactives compounds in toppings from colored cactus pear cultivated in Chile. *Acta Hort.*, 811: 127–130.

Morrison, J. F. 1984. Protection from beetle-predation in cochineal insects (*Dactylopiidae*: Homoptera) (Doctoral dissertation, Rhodes University).

Nejad, H. E., & Nejad, A. E. 2013. Cochineal (*Dactylopius coccus*) as one of the most important insects in industrial dyeing. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 1(11), 1302-08.

Ochoa, M. J., Rivera, L. Á., Arteaga-Garibay, R. I., Martínez-Peña, M. D., Ireta, J., & Portillo, L. 2015. Black spot caused by *Pseudocercospora opuntiae* in cactus pear productive systems of Jalisco, Mexico. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 17, 1-12.

Pérez Guerra, G. 1991. Biosystematics of the family *Dactylopiidae* (Homoptera: Coccinea) with emphasis on the life cycle of *Dactylopius coccus* Costa (Doctoral dissertation, Virginia Tech).

Pettinari, C. 1951. Una fusariosi su radici di *Opuntia ficus-indica*. *Boll. Stn. Patol. Veg.*, 61–67.

Pimienta-Barrios, E., Barbera, G., & Inglese, P. 1993. Cactus pear (*Opuntia* spp., Cactaceae) international network: an effort for productivity and environmental conservation for arid and semiarid lands

Rodríguez, L. C., & Niemeyer, H. M. 2001. Cochineal production: a reviving Precolumbian industry. *Athena Review*, 2(4), 76-78.

Samuel, O., & St-Laurent, L. 2001. Guide de prévention pour les utilisateurs de pesticides en agriculture maraîchère : guide technique. Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail du Québec.

Scheinvar L. 1995. Taxonomy of utilized *Opuntia*. In Barbera, G., P. Inglese, and E. Pimienta-Barrios (eds.). *Agroecology, cultivation and uses of cactus pear*. FAO International technical cooperation network on cactus pear.132: 20-27

Schirra, M., Inglese, P. & La Mantia, T. 1999b. Quality of cactus pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) fruit in relation to ripening time, CaCl₂ preharvest sprays and storage conditions. *Sci. Hortic. (Amsterdam, Neth.)*, 81: 425–436

Snyman, H. A. 2004. Effect of various water application strategies on root development of *Opuntia ficus-indica* and *O. robusta* under greenhouse growth conditions. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 6, 35-61.

Somma, V., Rosciglione, B. & Martelli G.P. 1973. Preliminary observations on gummous canker, a new disease of prickly pear. *Tec. Agric.*, 25: 437–443.

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.

Vanegas-Rico, J. M., Rodríguez-Leyva, E., Lomeli-Flores, J. R., González-Hernández, H., Pérez-Panduro, A., & Mora-Aguilera, G. 2016. Biology and life history of *Hyperaspis trifurcata* feeding on *Dactylopius opuntiae*. *BioControl*, 61(6), 691-701.

Zimmermann, H.G. & Granata, G. 2002. Insect pests and diseases. In P.S. Nobel, ed. *Cacti: Biology and uses*, pp. 235–254. Berkeley, CA, USA, University of California Press.

Inglese, P. 2020. *Ecologie, Culture Et utilisations du Figuier De Barbarie.*

Annexes

Annexe 1 - Nombre des œufs traités par pulvérisation

| | Avant traitement | | | Après 24h de traitement | | |
|--------------|--------------------------|-------------|----------|--------------------------|-------------|----------|
| | Pas déformation des œufs | Déformation | Eclosion | Pas déformation des œufs | Déformation | Eclosion |
| Témoin (eau) | 20 | 0 | 0 | 13 | 3 | 4 |
| 3,33ml/L NPc | 20 | 0 | 0 | 4 | 14 | 2 |
| 5ml/L NPC | 20 | 0 | 0 | 5 | 14 | 1 |
| 10ml/L NPc | 20 | 0 | 0 | 0 | 20 | 0 |
| 0,75ml/L Chl | 20 | 0 | 0 | 5 | 9 | 6 |
| 1,5ml/L Chl | 20 | 0 | 0 | 9 | 7 | 4 |
| 3ml/L Chl | 20 | 0 | 0 | 8 | 7 | 5 |

Annexe 2 - Nombre des nymphes mobiles traitées par pulvérisation

| Produit | Boîte 1 | | | Boîte 2 | | |
|--------------|---------|-----|-----|---------|-----|-----|
| | 24h | 48h | 72h | 24h | 48h | 72h |
| Témoin | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 4 |
| 3,33ml/L NPc | 13 | 28 | 29 | 17 | 22 | 27 |
| 5ml/L NPc | 28 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| 10ml/L NPc | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| 0,75ml/L Chl | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| 1,5ml/L Chl | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| 3ml/L Chl | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |

Annexe 3 - Nombre des nymphes mobiles traitées par effet vapeur

| Produit | Boîte 1 | | | | | Boîte 2 | | | | |
|--------------|---------|----|----|----|-----|---------|----|----|----|-----|
| | 1h | 2h | 4h | 6h | 24h | 1h | 2h | 4h | 6h | 24h |
| Témoin | 0 | 1 | 3 | 3 | 5 | 0 | 0 | 4 | 4 | 4 |
| 3,33ml/L NPc | 0 | 1 | 8 | 27 | 30 | 0 | 1 | 10 | 29 | 30 |
| 5ml/L NPc | 1 | 10 | 16 | 30 | 30 | 2 | 8 | 18 | 30 | 30 |
| 10ml/L NPc | 1 | 16 | 28 | 30 | 30 | 2 | 15 | 26 | 30 | 30 |
| 0,75ml/L Chl | 1 | 3 | 12 | 13 | 16 | 0 | 4 | 13 | 14 | 17 |
| 1,5ml/L Chl | 2 | 8 | 17 | 18 | 19 | 0 | 9 | 18 | 20 | 20 |
| 3ml/L Chl | 0 | 7 | 17 | 20 | 20 | 1 | 8 | 18 | 20 | 20 |

Annexe 4 - Nombre des nymphes immobiles traitées par pulvérisation

| Produit | Boite1 | | | Boite 2 | | |
|--------------|--------|-----|-----|---------|-----|-----|
| | 24h | 48h | 72h | 24h | 48h | 72h |
| Témoin | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 1 |
| 3,33ml/L NPc | 0 | 4 | 19 | 1 | 3 | 17 |
| 5ml/L NPc | 0 | 9 | 22 | 2 | 7 | 24 |
| 10ml/L NPc | 1 | 14 | 30 | 2 | 11 | 30 |
| 0,75ml/L Chl | 0 | 6 | 28 | 0 | 8 | 30 |
| 1,5ml/L Chl | 0 | 12 | 30 | 0 | 10 | 28 |
| 3ml/L Chl | 0 | 14 | 30 | 0 | 12 | 30 |

Annexe 5 - Nombre des femelles pondueuses traitées par pulvérisation

| Produit | Boite 1 | | | Boite 2 | | |
|--------------|---------|-----|-----|---------|-----|-----|
| | 24h | 48h | 72h | 24h | 48h | 72h |
| Témoin | 17 | 17 | 23 | 18 | 18 | 22 |
| 3,33ml/L NPc | 1 | 6 | 12 | 2 | 8 | 13 |
| 5ml/L NPc | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 |
| 10ml/L NPc | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 0,75ml/L Chl | 2 | 2 | 4 | 4 | 4 | 5 |
| 1,5ml/L Chl | 10 | 10 | 12 | 11 | 11 | 13 |
| 3ml/L Chl | 5 | 5 | 9 | 6 | 6 | 10 |

Annexe 6 - Nombre des femelles pondueuses traitées par effet vapeur

| Produit | Boite 1 | | | Boite 2 | | |
|--------------|---------|-----|-----|---------|-----|-----|
| | 24h | 48h | 72h | 24h | 48h | 72h |
| Témoin | 17 | 26 | 28 | 21 | 27 | 29 |
| 3,33ml/L NPc | 8 | 13 | 13 | 9 | 13 | 13 |
| 5ml/L NPc | 6 | 8 | 9 | 9 | 11 | 11 |
| 10ml/L NPc | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 0,75ml/L Chl | 17 | 25 | 26 | 19 | 27 | 27 |
| 1,5ml/L Chl | 25 | 25 | 27 | 24 | 28 | 29 |
| 3ml/L Chl | 15 | 16 | 18 | 14 | 14 | 16 |

Résumé

Nom et prénom : FILALI Bouchra

Année Universitaire : 2020-2021

Titre : Mise au point d'un biopesticide NPc pour la lutte contre la cochenille *Dactylopius Coccus*

La culture du Cactus est un véritable trésor présent au Maroc. Elle est l'une des plus importantes sources de production des fruits et des raquettes dans plusieurs régions marocaines. Etant donné que cette culture assure la production des fruits, des figues, et du fourrage pour le bétail, l'apparition de la cochenille et sa dissémination rapide ont engendré la destruction des champs entiers du cactus causant d'énormes pertes économiques et environnementales.

L'utilisation des pesticides chimiques présente des effets néfastes pour l'environnement et la santé. Des études ont montré que les huiles essentielles perturbent le développement des insectes. NPc est un produit naturel à base d'huiles essentielles qui pourrait remplacer l'utilisation des pesticides chimiques.

Dans cette perspective, et dans le but de réduire les dégâts de la cochenille, nous avons évalué l'effet *in vitro* et *in situ* du NPc sur la cochenille en le comparant avec l'effet d'un pesticide chimique recommandé pour la lutte contre la cochenille, le Chlorpyrifos et l'huile minérale.

En effet, les résultats obtenus ont montré que le biopesticide NPc possède un effet multiple ; il a un effet sur la dégradation de la cire protectrice de la cochenille et un effet insecticide sur les différents stades du développement de la cochenille à une concentration létale 10ml/L.

Mots clés : Cactus, Cochenille, *Dactylopius Coccus*, Cire protectrice, Huiles essentielles, effet insecticide, Chlorpyrifos, Huile minérale.