



# Remerciements

En premier lieu, nous remercions DIEU le tout puissant de nous avoir accordé le courage, la force et la patience de mener à bien ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer toute notre reconnaissance et remerciements à notre promotrice **Dr. KAIDI Narimen**, Maître de recherche B. de la Division de Recherche Protection des Cultures (Institut Nationale de la Recherche Agronomique d'Algérie, INRAA) qui nous a encadrées, tout au long de notre travail de recherche et qui a fait preuve de volonté a été d'un grand apport pour l'accomplissement de notre humble travail.

Nous désirons, également, exprimer nos vifs remerciements à notre Co-promotrice **Pr. BRAHMI Karima**, Professeur à l'UMMTO pour son soutien, ses conseils et orientations tout au long de ce travail. Qu'elle soit assurée de notre profonde reconnaissance.

Nous remercions également **Dr. OUKIL Salah**, Directeur de la Division de Protection des Cultures de l'INRAA, de nous avoir acceptées au sein de sa division de recherche et d'avoir mis à notre disposition tous les moyens nécessaires pour la réalisation de ce travail.

Nous remercions également les membres de jury qui ont bien voulu juger ce travail à savoir : **Dr TALMAT-CHAOUCHI Nora**, Maitre de conférences A à l'UMMTO et **Dr. DJIOUA Ouiza**, Maitre assistant A à l'UMMTO.

Enfin nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire que ce soit par son amitié, ses conseils ou son soutien moral.

# *Dédicaces*

*Au nom de Dieu le tout puissant et le très miséricordieux par la grâce duquel j'ai pu mener à son terme ce travail que je dédie :*

*A mes chers parents en témoignage de ma gratitude, si grande qu'elle puisse être, pour tous les sacrifices qu'ils ont consentis pour mon bien être et le soutien qu'ils m'ont prodigué tout le long de mon éducation. Que dieu, le tout puissant, les préserve et les procure santé et longue vie*

*A mes chers grands parents, je leur dédie aujourd'hui ma réussite, grâce aux vœux qu'ils n'ont cessé de formuler dans leurs prières.*

*A mes chers frères ceux qui ont partagé avec moi tous les moments d'émotions et encouragé tout au long de mon parcours. Je leur souhaite beaucoup de succès et de réussite dans leur vie.*

*A ma chère binôme Hassina pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.*

*A mes chers amis qui m'ont toujours encouragé. Que dieu vous procure joie, bonheur et réussite et que notre amitié reste à jamais*

*A toute ma famille et tous ceux qui m'ont encouragée, soutenue et aidée de près ou de loin à la réalisation de ce travail*

*A tout ceux que j'aime et qui me sont chers.*

**ZAHOUA**

*je dédie ce modeste travail particulièrement à mes chers parents, qui ont consacré leur existence à bâtir la mienne, pour leur soutien et tendresse et pour tout ce qu'ils ont fait pour que je puisse arriver à ce stade.*

*A mes chers grands parents, je leur dédie aujourd'hui ma réussite, grâce aux vœux qu'ils n'ont cessé de formuler dans leurs prières.*

*A mon cher frère Said et mes chères sœurs Tassadit, Ouardia et Fatima qu'ils trouvent ici l'expression de ma haute gratitude.*

*A celui que j'aime beaucoup et qui m'a soutenue tout au long de ce projet : mon fiancé GHAOUI Hocine.*

*A ma chère binôme Zahoua pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.*

*A toute ma famille, ma belle famille et mes amis, et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.*

**HASSINA**

## Liste des figures

<b>Figure 1</b> : Cycle biologique de <i>Locusta migratoria</i> .....	7
<b>Figure 2</b> : Les étapes de transformation phasaire.....	10
<b>Figure 3</b> : Les différentes parties de l'espèce <i>Calotropis procera</i> Ait.....	16
<b>Figure 4</b> : Les Feuilles fraîches de <i>Calotropis procera</i> collectées à Tamanrasset.....	21
<b>Figure 5</b> : Elevage en masse de <i>Locusta migratoria</i> au niveau du Laboratoire de Protection des Culture (INRAA).....	22
<b>Figure 6</b> : Les bacs destinés au développement embryonnaire des individus de <i>L. migratoria</i>	23
<b>Figure 7</b> : Préparation de l'extrait aqueux de <i>C. procera</i> par décoction.....	26
<b>Figure 8</b> : Préparation de l'huile essentielle de <i>C. procera</i> par hydro-distillation.....	27
<b>Figure 9</b> : Différentes étapes pour la réalisation du frottis hémolympatique.....	30
<b>Figure 10</b> : Illustration des hémocytes les plus communs chez les insectes.....	30
<b>Figure 11</b> : Pourcentages de mortalités imagos de <i>Locusta migratoria</i> témoins et traités par l'extrait aqueux de <i>Calotropis procera</i> .....	34
<b>Figure 12</b> : Efficacité de l'extrait aqueux de <i>C. procera</i> contre les imagos de <i>L. migratoria</i> .....	35
<b>Figure 13</b> : Les différentes catégories d'hémocytes identifiées dans l'hémolymphe des imagos témoins de <i>L. migratoria</i> .....	37
<b>Figure 14</b> : Altérations structurales des hémocytes des imagos de <i>L. migratoria</i> traités par l'extrait aqueux de <i>C. procera</i> .....	37
<b>Figure 15</b> : Nombre d'hémocytes, de prohémocytes, de plasmatocytes et de granulocytes des imagos de <i>L. migratoria</i> témoins et traités par l'extrait aqueux de <i>C. procera</i> .....	38
<b>Figure 16</b> : Pourcentages de mortalité des imagos de <i>L. migratoria</i> traités par l'huile essentielle de <i>C. procera</i> .....	40
<b>Figure 17</b> : Les catégories d'hémocytes identifiées dans l'hémolymphe des imagos témoins de <i>Locusta migratoria</i> .....	41
<b>Figure 18</b> : Altération structurales des hémocytes observées chez les imagos de <i>L. migratoria</i> pulvérisés par l'huile essentielles de <i>C. procera</i> .....	42
<b>Figure 19</b> : Nombre d'hémocytes, de prohémocytes, de plasmatocytes et de granulocytes des imagos de <i>L. migratoria</i> témoins et traités par l'huile essentielle de <i>C. procera</i> .....	43

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1 :</b> Constituants chimiques de <i>Calotropis procera</i> Ait.....	<b>17</b>
<b>Tableau 2 :</b> Les différentes étapes du screening phytochimique.....	<b>23</b>
<b>Tableau 3 :</b> Résultat de la phytochimie qualitative des feuilles de <i>Calotropis procera</i> .....	<b>32</b>
<b>Tableau 4 :</b> Pourcentages de mortalité des imagos de <i>L. migratoria</i> , témoins et traités par l'extrait aqueux de <i>C. procera</i> .....	<b>33</b>
<b>Tableau 6.</b> Analyse de la variance des mortalités des imagos de <i>L. migratoria</i> traités par l'extrait aqueux de <i>C. procera</i> .....	<b>35</b>
<b>Tableau 7 :</b> Test LSD sur l'efficacité de l'extrait aqueux de <i>C. procera</i> contre les imagos de <i>L. migratoria</i> .....	<b>36</b>
<b>Tableau 8 :</b> Nombre d'hémocytes, de prohéocytes, de plasmatocytes et de granulocytes des imagos de <i>L. migratoria</i> témoins et traités par l'extrait aqueux de <i>C. procera</i> .....	<b>38</b>
<b>Tableau 9 :</b> Analyse de la variance de l'hémogramme des imagos de <i>L. migratoria</i> traités par l'extrait aqueux de <i>C. procera</i> .....	<b>39</b>
<b>Tableau 10:</b> Moyennes des pourcentages de mortalité des imagos de <i>L. migratoria</i> traités par l'huile essentielles de <i>C. procera</i> .....	<b>39</b>
<b>Tableau 11 :</b> Analyse de la variance des mortalités des et imagos de <i>L. migratoria</i> traités par l'huile essentielle de <i>C. procera</i> .....	<b>40</b>
<b>Tableau 12 :</b> Nombre d'hémocytes, de prohéocytes, de plasmatocytes et de granulocytes des imagos de <i>L. migratoria</i> témoins et traités par l'huile essentielle de <i>C. procera</i> .....	<b>42</b>

## Liste des annexes

**Annexe 1.** Mortalités des imagos de *L. migratoria* traités par l'extrait aqueux de *C. procera*

**Annexe 2.** Mortalités des imagos de *L. migratoria* traités par l'huile essentielles de *C. procera*

**Annexe 3.** Nombre et taux de prohémyocytes chez les imagos de de *L. migratoria* traités par l'extrait aqueux et l'huile essentielle de *C. procera*

**Annexe 4.** Nombre et taux de plasmatocytes chez les imagos de de *L. migratoria* traités par l'extrait aqueux et l'huile essentielle de *C. procera*

## Sommaire

<b>Remerciements</b> .....	<b>I</b>
<b>Dédicaces</b> .....	<b>II</b>
<b>Liste des figures</b> .....	<b>III</b>
<b>Liste des tableaux</b> .....	<b>IV</b>
<b>Liste des annexes</b> .....	<b>V</b>
<b>Introduction générale</b> .....	<b>1</b>
<b>Chapitre I : Synthèse bibliographique</b>	
I.1. - Généralités sur le criquet migrateur <i>Locusta migratoria</i> (1758).....	<b>4</b>
I.1.1. - Historique .....	<b>4</b>
I.1.2. - Place du Criquet migrateur dans la classification zoologique (systématique).....	<b>4</b>
I.1.3. - Biologie et comportement.....	<b>5</b>
I.1.3.1. - Cycle biologique de criquet migrateur.....	<b>5</b>
I.1.3.1.1. - La ponte.....	<b>6</b>
I.1.3.1.2. - Le développement embryonnaire.....	<b>8</b>
I.1.3.1.3. - Développement larvaire.....	<b>8</b>
I.1.3.1.4. - Développement imaginaire et la maturité sexuelle.....	<b>8</b>
I.1.3.1.5. - Accouplement.....	<b>9</b>
I.1.4. - Grégarisation et Polymorphisme phasaire.....	<b>9</b>
I.1.5. - Préférences alimentaires, dégâts et importance économique de <i>Locusta migratoria</i> .....	<b>11</b>
I.1.6. - Les milieux de vie du criquet migrateur.....	<b>11</b>
I.1.7. - Stratégies de lutte antiacridienne.....	<b>12</b>
I.1.7.1. - La lutte préventive.....	<b>12</b>
I.1.7.2. - La lutte mécanique.....	<b>12</b>
I.1.7.3. - La lutte écologique.....	<b>13</b>
I.1.7.4. - La lutte biologique.....	<b>13</b>
I.2. - Généralités sur le Pommier de Sodome <i>Calotropis procera</i> Ait.....	<b>15</b>
I.2.1. - Classification botanique.....	<b>15</b>
I.2.2. - Description botanique.....	<b>15</b>
I.2.3. - Origine et biogéographie de <i>Calotropis procera</i> .....	<b>17</b>
I.2.4. - Composition chimique de <i>Calotropis procera</i> .....	<b>17</b>
I.2.5. Utilisation de <i>Calotropis procera</i> .....	<b>18</b>

## Chapitre II : Approche méthodologique

II.1 - Problématique et Objectifs.....	20
II.2. - Matériels utilisés.....	20
II.2.1. - Matériel animal.....	20
II.2.2. - Matériel végétal.....	20
II.3. - Méthodologie de travail.....	21
II.3.1. - Elevage de masse des criquets.....	21
II.3.2. - Réalisation du screening phytochimique de <i>C. procera</i> .....	23
II.3.3. - Préparation des extraits aqueux de <i>Calotropis procera</i> .....	25
II.3.4. - Préparation des huiles essentielles de <i>C. procera</i> .....	26
II.3.5. - Traitement des individus.....	27
II.3.5.1. - Traitement à base de l'extrait aqueux de <i>C. procera</i> .....	28
II.3.5.2. - Traitement à base de l'huile essentielle de <i>C. procera</i> .....	28
II.3.6. - Paramètres étudiés.....	28
II.3.6.1. - Effet sur la mortalité.....	28
II.3.6.2. - Effet sur l'hémolymph.....	29
II.3.7. - Exploitation des résultats.....	31
II.3.7.1. - Détermination de la dose létale (DL50).....	31
II.3.7.2. - Analyse statistique.....	31

### Chapitre III : Résultats obtenus

III.1. - Screening phytochimique de <i>Calotropis procera</i> .....	32
III.2. - Effet de l'extrait aqueux de <i>C. procera</i> sur la mortalité des imagos de <i>L. migratoria</i> .....	32
III.2.1. - Détermination de la DL50.....	34
III.2.2. - Analyse statistique.....	35
III.3. - Effet de l'extrait aqueux de <i>C. procera</i> sur l'hémogramme des imagos de <i>L. migratoria</i> .....	36
III.3.1. - Étude qualitative.....	36
III.3.2. - Étude quantitative.....	37
III.3.3. - Analyse statistique.....	39
III.4. - Effet de l'huile essentielle de <i>C. procera</i> sur la mortalité des imagos de <i>L. migratoria</i> ....	39
III.4.1. - Analyse statistique.....	40
III.5. - Effet de l'huile essentielle de <i>C. procera</i> sur l'hémogramme des imagos de <i>L. migratoria</i>	41

III.5.1. - Étude qualitative.....	41
III.5.2. - Étude quantitative.....	42
III.5.3. - Analyse statistique.....	43

#### **Chapitre IV : Discussions des résultats obtenus**

IV.1. - Screening phytochimique de <i>Calotropis procera</i> .....	44
IV.2. - Activité toxique des feuilles de <i>Calotropis procera</i> vis-à-vis des imagos de <i>Locusta migratoria</i> .....	44
IV.2.1. - Effet sur la mortalité.....	44
IV.2.2. - Effet sur l'hémolymphe.....	48
IV.2.2.1. - Étude qualitative.....	48
IV.2.2.2. - Étude quantitative.....	50
<b>Conclusion</b> .....	51

#### **Références bibliographiques**

#### **Annexes**



# Introduction

Les criquets migrateurs comptent parmi les ravageurs les plus destructeurs pour la végétation, appartiennent à la famille des Locustidae, et présentent un caractère biologique commun celui de se rassembler et de former des essaims doués d'un même comportement identique, c'est ce phénomène que l'on nomme « **instinct grégaire** ». Une fois ce dernier acquis, ils constituent, selon **Popov (1959)**, une menace pour l'agriculture dans les pays chauds, dévastant tout sur leur passage. Ces locustes présentent une plasticité phénotypique en réponse au changement de la densité locale des populations (**Uvarov, 1966**).

Les essaims des criquets migrateurs sont incroyablement denses, contenant de 40 à 80 millions d'individus (**Steedman, 1988**). Le même auteur ajoute que ce fléau acridien inflige, des dégâts se soldant la plupart du temps par des pertes de récoltes colossales. Ces dernières, peuvent toucher environ 60 pays couvrant près de 25% des terres émergées, habitées par le dixième de la population mondiale.

L'ampleur de ces dégâts est, en effet, liée à leur grande mobilité, leur voracité ainsi que leur polyphagie. Ces acridiens grégaires et redoutables sont caractérisés par un régime alimentaire très varié et peuvent s'attaquer à tous les types de culture et de pâturage. Selon **Coper (1982)** leur forte capacité à migrer sur de longues distances est une caractéristique fondamentale du criquet pèlerin et du criquet migrateur. Ce dernier, est l'acridien qui a la plasticité écologique et l'extension géographique les plus grandes (**Launois-Luong et Lecoq, 1993**).

Face à cette ampleur, l'homme reste largement impuissant devant ce fléau n'ayant pour tout arme que ses mandibules. Le seul arsenal à sa disposition est l'utilisation des pesticides chimiques à action immédiate et dont les conséquences sur l'environnement et sur la faune auxiliaire ne sont plus à démontrer. En effet, l'utilisation sans cesse croissante des pesticides chimiques, les risques de leur utilisation pour la santé humaine et pour l'environnement ainsi que les coûts élevés des opérations de lutte ont amené certains acteurs à se poser un certain nombre de questions sur l'opportunité et l'efficacité de la stratégie actuelle de lutte et son impact sur l'environnement. C'est dans ce cadre que certains donateurs ont mis l'accent sur la recherche d'une alternative de lutte pouvant avoir peu d'incidences néfastes sur l'environnement tout en apportant une solution durable au problème acridien (**Zakaria et Sagnia, 2003**).

De ce fait, une prise de conscience de ces problèmes a amené les instituts de recherches à s'orienter vers la lutte biologique, une alternative très prometteuse pour assurer une protection phytosanitaire performante de par l'ubiquité naturelle des agents microbiologiques dans les écosystèmes, leur grande variété, leur dissémination facile, leur spécificité d'action et aussi leur

persistance dans l'environnement (**Bouhacein, 1999**).

D'une part, l'utilisation des micro-organismes tels que les champignons, les bactéries et les virus offrent les meilleures perspectives et en particulier ceux qui sont formulés et multipliés pour être épanchés comme bio-pesticides (**Greathead et al., 1994**).

D'autre part, l'accent mis sur les questions environnementales a poussé les organisations et les institutions de recherches à développer de plus en plus de formes de méthodes biologiques pour limiter l'utilisation de pesticides chimiques, telle l'utilisation et l'exploitation des composés secondaires provenant des plantes toxiques contre les insectes ravageurs des cultures. **De Simmons et al., (1992)** cités par **De Kouassi (2001)** notent que plus de 59 familles botaniques et 188 genres de plantes sont utilisées pour la répression des insectes ravageurs. Ces plantes contiennent des substances qui ont des propriétés anti-appétantes, répulsives ou même insecticides. De nombreuses espèces végétales ont été testées, au laboratoire, afin d'étudier leurs propriétés insecticides et leur toxicité, en particulier sur le criquet pèlerin dont : *Azadirachta indica* (Juss.) (Méliaceae), *Xylopi aetiopica* (Dunal) (Annonaceae), *Melia azerdarach* L. (Méliaceae), *Scilla maritima* L. (Liliaceae), *Peganum harmala* L. (Zygophyllaceae), *Glinus lotoides* L. (Aizoaceae), *Calotropis procera* (Aiton) (Asclepiadaceae), etc.

En Algérie, un pays occupant une place prépondérante dans l'aire d'habitat des criquets grégariques, plusieurs travaux de recherche ont fait l'objet de l'utilisation de la lutte biologique comme moyen préventif contre ces acridiens grégaires.

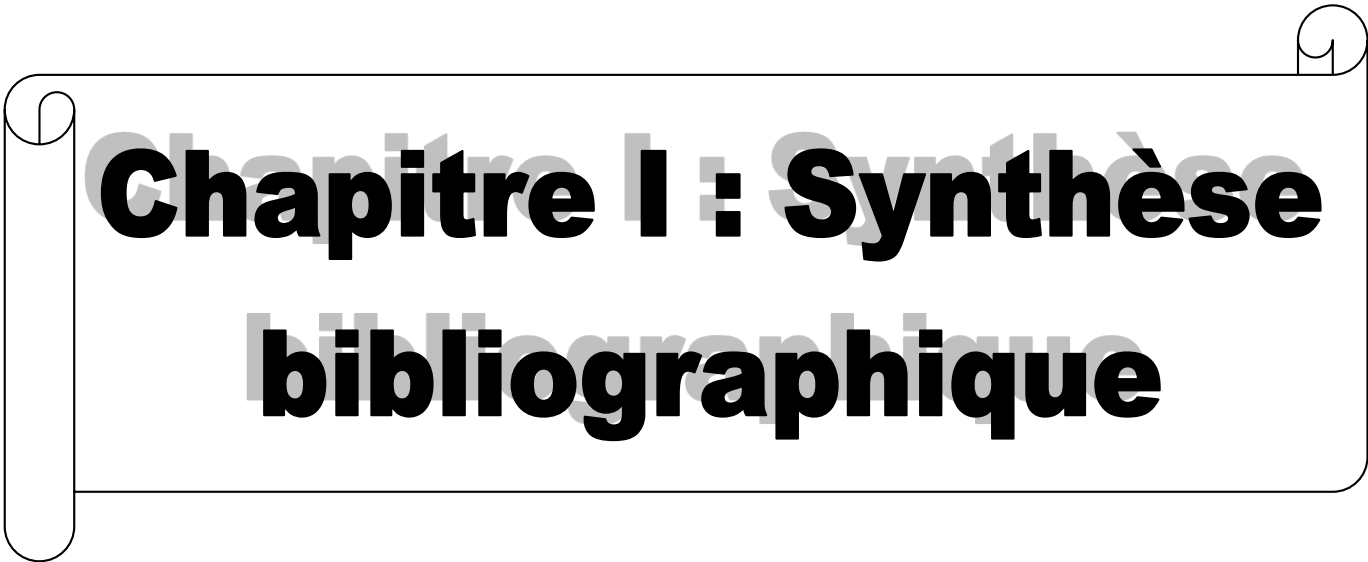
Des travaux sur l'utilisation des agents entomopathogènes contre le criquet migrateur et le criquet pèlerin, tels que ceux réalisés par des produits champignons entomopathogènes contre les criquets ont été réalisées, à savoir, celles de : **Doumandji-Mitiche et al., (1999)**; **Halouane et al., (2001)**; **Kaidi (2007)**; **Millat-Bissad et al., (2011)**; **Bissad et al., (2012)**; **Haddadj et Doumandji-Mitiche (2013)**; **Kaidi et al., (2017)**; **Hadj-Rabia-Haddadj et al., (2018)** et **Benabid (2021)**.

Pour ce qui est de l'utilisation des plantes toxiques contre les criquets, plusieurs travaux ont été réalisés, notons ceux de : **Barbouche et al., (2001)**; **Abassi et al., (2004)**; **Abassi et al., (2005)**; **Ould El Hadj et al., (2006)**; **Abdalla et al., (2009)**; **Kemassi et al., (2012)**; **Hamid-Oudjana (2017)**; **Kaidi et al., (2017)**; **Kemassi (2019)**; **Soltan et al., (2020)** et **Hamadi et al., (2021)**.

C'est dans cette optique que nous avons voulu apporter notre contribution en menant une étude comparative entre l'effet toxique de l'extrait aqueux et celui de l'huile essentielle du Pommier de Sodome *Calotropis procera*, contre les imagos du criquet migrateur *Locusta*

*migratoria.*

Le présent document est articulé autour de quatre chapitres. Dans un premier temps, des données bibliographiques sur le criquet migrateur ainsi que celles sur le Pommier de Sodome seront présentées dans un premier chapitre. Il sera suivi par celui concernant la présentation l'approche méthodologique adoptée pour ce travail de recherche. Par la suite, le troisième et le quatrième chapitre, traiteront, respectivement, les résultats obtenus et leurs discussions avec des travaux de recherches similaires. Ces derniers chapitres seront suivis, enfin, par une conclusion générale et des perspectives.



# **Chapitre I : Synthèse bibliographique**

## I.1. - Généralités sur le criquet migrateur *Locusta migratoria* (1758)

### I.1.1. - Historique

Le criquet migrateur *Locusta migratoria* est considéré, selon **Launois-Luong et Lecoq (1993)**, comme une espèce de locuste caractérisée par une plasticité écologique et une grande extension géographique. Bien avant, **en 1921, Uvarov** avait mentionné que les phases grégaires et dispersées du criquet migrateur représentaient des états de la même espèce, qui selon la règle de priorité en nomenclature, devait prendre le nom de *L. migratoria*. Plus tard en 1966, ce même auteur avait mentionné que différents noms de cette espèce devaient être attribués aux locustes issues d'origines géographiques différentes, en raison d'une variabilité dans leur tendance à la grégarisation.

Ainsi, les foyers grégarigènes de cet acridien se trouvaient, selon **Uvarov (1923)**, sont inclus en Russie orientale, à la zone d'habitat permanent de cette espèce, mais localisés dans des stations particulières, et dans des îlots sablonneux dépourvus de végétation arbustive, riches en graminées xérophytes et en particulier en roseaux communs (phragmites), qui forment l'alimentation essentielle des jeunes larves.

En Afrique, les principaux groupes de criquets migrants se situent au Mali, dans les zones inondées du fleuve Niger. La dernière grande invasion a eu lieu en 1928. En cinq ou six ans, elle s'est propagée à une grande partie du continent de l'Afrique subsaharienne. Pendant longtemps, les êtres humains ont été impuissants face à ce phénomène. La biologie de cet insecte n'a été découverte que vers 1930. Nous avons alors pu limiter les dégâts que peuvent faire les criquets migrants en Afrique tropicale.

En 1940, à Madagascar, la zone d'épidémie était située dans la partie la plus sèche de l'île au sud-ouest de Madagascar, et l'invasion a commencé, qui pouvait s'étendre à près de 500 000 km<sup>2</sup>. En Europe, les invasions de criquets migrants sont concentrées dans les régions de l'Est et du Sud-Est, principalement en Russie et dans les Balkans (**Duranton et Lecoq, 2009**).

### I.1.2. - Place du Criquet migrateur dans la classification zoologique (systématique)

Les orthoptères regroupent des espèces qui occupent une grande place dans l'importance économique des insectes nuisibles à l'agriculture.

**Chopard (1943) ; Grassé (1949) et Dirsh (1975)**, l'ordre des Orthoptères se subdivise en deux sous-ordres : les Ensifères et les Caelifères. Ce dernier se scinde en trois super-familles à savoir : les *Tetragoidea*, les *Tridactyloidea* ainsi que les *Acridoidea*.

De leur côté, **Louveaux et Ben Halima (1987)** mentionnent que les *Acridoidea* sont composés de quatre familles réparties en 18 sous-familles renfermant ainsi plus de 280 espèces et

sous-espèces, toutes susceptibles de se rencontrer en Afrique du Nord.

Ainsi, parmi ces acridiens, citons deux espèces qui représentent deux des plus grands fléaux de l'agriculture, le criquet pèlerin ou criquet du désert et le criquet migrateur. Ce dernier dont le nom latin est *Locusta migratoria* comprend au moins une douzaine de sous-espèces, chacune possédant des particularités bio-écologiques liées aux caractéristiques éco-climatiques de leur domaine d'existence (**Launois-Luong et Lecoq, 1993**).

De ce fait, **Chopard (1943)** ; **Dirsh (1975)** et **Louveaux et Ben Halima (1987)** le classent le criquet migrateur selon la nomenclature suivante :

<b>Règne</b>	Animal
<b>Embranchement</b>	Arthropodes
<b>Classe</b>	Insectes
<b>Sous-classe</b>	Pterygotes
<b>Super Ordre</b>	Orthoptéroïdes
<b>Ordre</b>	Orthoptera
<b>Sous-ordre</b>	Caelifera
<b>Super famille</b>	Acridoidea
<b>Famille</b>	Acrididae
<b>Sous-famille</b>	Oedipodinae
<b>Genre</b>	<i>Locusta</i>
<b>Espèce</b>	<i>Locusta migratoria</i> ( <b>Linné, 1758</b> )

### I.1.3. - Biologie et comportement

#### I.1.3.1. - Cycle biologique de criquet migrateur

*Locusta migratoria* est une espèce appartenant à la catégorie des locustes présentant un phénomène de polymorphisme phasaire très marqué. Elle se reproduit en continu et effectue 4 à 5 générations par an dans sa phase solitaire et 3 dans sa phase grégaire (**Launois-Luong et Lecoq, 1989**). Le cycle biologique de cet acridien (**figure 1**) comprend trois états successifs : l'état embryonnaire, l'état larvaire et l'état imaginal (**Appert et Deuse, 1982**). **Masson et Mchive (1989)**, signalent, de leur côté, que le cycle biologique du criquet migrateur est complexe, il varie toutefois selon le type d'habitat, le climat ainsi que la quantité de nourriture verte disponible pour le développement des larves.

Concernant le nombre de générations, **Masson et Mchive (1993)** indiquent que le criquet migrateur est capable de produire 4 à 5 générations par an, ce qui le rend problématique. Alors que

**Pastre et al., (1988) et Masson (1989)** mentionnent que le criquet migrateur Africain présente quatre générations par an :

- Deux pendant la période de décrue du Niger et correspond à la saison sèche (Décembre-Mai).
- Et deux pendant la saison des pluies (crues et inondations du Delta) (Juin à Novembre).

#### **I.1.3.1.1. - La ponte**

Au moment de la ponte, la femelle enfonce son oviscapte profondément dans la terre (**Balachowsky et Mesnil, 1936**). De couleur brun clair et d'une taille variante entre 5,5 et 7,1 cm, les œufs sont déposés sur la couche humide du sol entre cinq à quinze cm de profondeur. La disposition des œufs est bilatérale (**Popov et al., 1990**). Une fois qu'elle a déposé ses œufs, la reproductrice redresse son abdomen puis remplit le trou en y grattant de la terre et tasse bien la surface (**Steedman, 1988**).

Les œufs sont, ainsi, pondus groupés dans le sol agglutiné dans une **substance spumeuse** produite par la femelle. L'ensemble de la **masse ovigère** est surmonté par un **bouchon spumeux**. L'oothèque des solitaires ressemble dans la forme et la taille à celle des grégaires mais elle contient des œufs plus petits et en plus grand nombre (**Launois-Luong et Popov, 1992**).

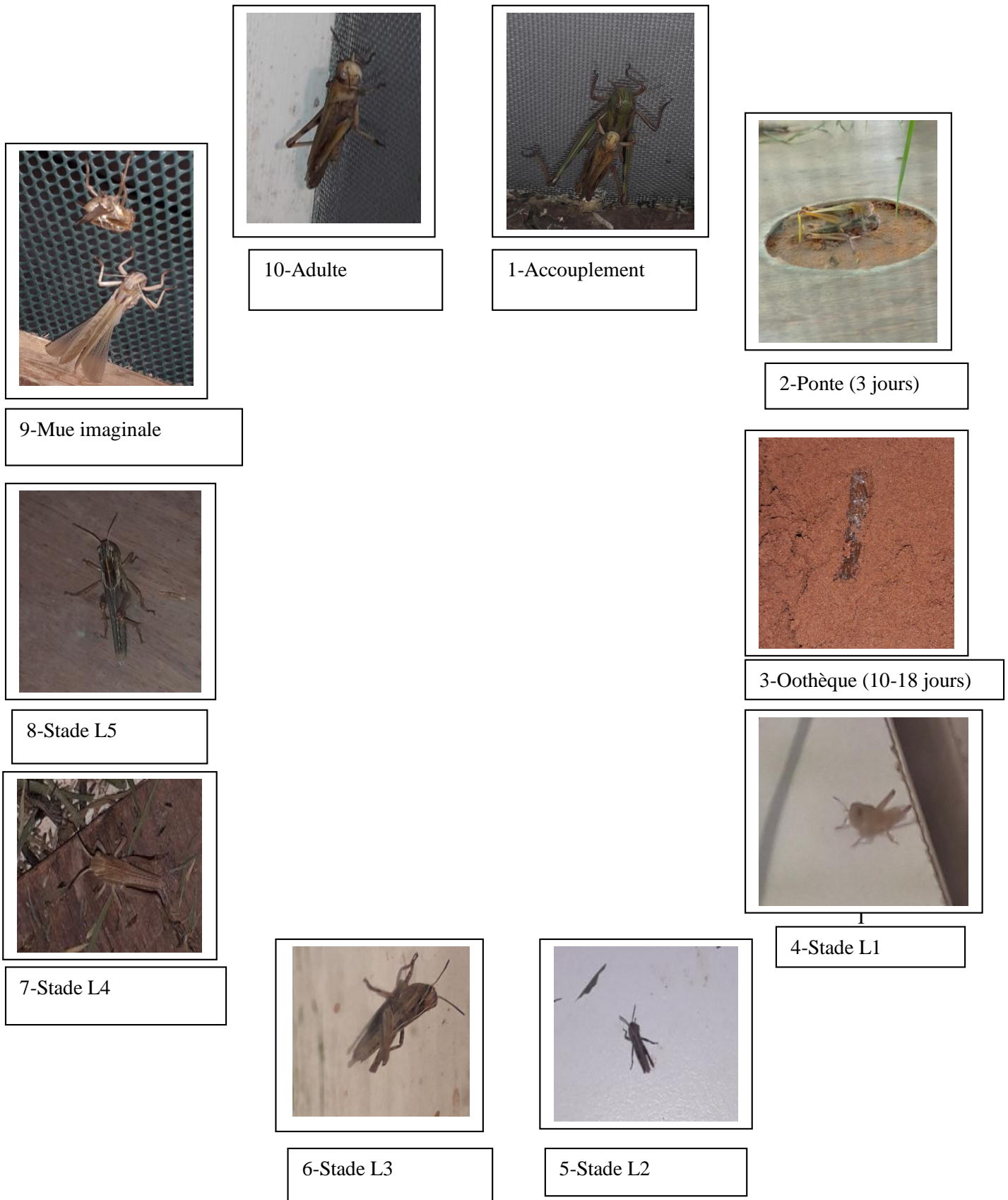


Figure 1 : Cycle biologique de *Locusta migratoria* (Linné, 1758) (originales)

### **I.1.3.1.2. - Le développement embryonnaire**

**Chopard (1932)** indique que l'évolution voir le développement des œufs de criquet se fait en un temps très variable selon les conditions extérieures, notamment la température du sol. D'après **Duranton et al., (1982)**, le développement embryonnaire, chez le criquet migrateur, dépend essentiellement de la température d'incubation et dure de 18 jours à 27°C et de 10 jours à 33°C. Selon **Launois-Luong et Lecoq (1989)**, le développement embryonnaire dure 10 jours en saison chaude et elle peut dépasser un mois en saison fraîche.

### **I.1.3.1.3. - Développement larvaire**

**Launois-Luong et Lecoq (1989)** notent que le développement larvaire en saison chaude, passe généralement par 05 stades et dure environ 03 semaines (les femelles peuvent avoir un sixième stade, mais cela ne concerne qu'une petite population).

En saison fraîche, cela peut prendre plus d'un mois. Les 03 premiers stades se ressemblent avec bien sûr une augmentation de taille, qui est visible surtout au niveau de la tête et du thorax, l'abdomen s'allonge entre les mues avec la prise alimentaire.

En sus, les larves de 4<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> stade se distinguent seulement par leur taille et la grandeur de leurs ébauches alaires qui sont dirigées vers le haut et qui restent différentes de celles des 3 premiers stades qui sont dirigées vers le bas (**Bellman et Luquet, 1995**).

D'après **Masson (1989)** les larves grégaires de *L. migratoria* sont de couleur grise au début de développement qui devient foncé par la suite, orange et même noir en fin de développement larvaire.

### **I.1.3.1.3. - Développement imaginaire et la maturité sexuelle**

La larve du 5<sup>ème</sup> stade subit une mue imaginaire qui donne naissance à l'adulte (**De Gregorio, 1996**). Ce jeune imago possède des téguments mous qui durcissent progressivement en une dizaine de jours au maximum. Après cette étape, le jeune *Oedipodinae* se consacre surtout à la recherche d'un biotope favorable l'alimentation (**Duranton et Lecoq, 1990**).

**Bellmann et Luquet (1995)**, ajoutent que l'imago est le dernier stade de développement du criquet, il ressemble alors à la larve excepté la présence d'ailes qui étaient avant sous forme d'ébauches. L'adulte est un imago sexuellement mûr. La maturation sexuelle est d'environ 15 jours (**Launois-Luong et Lecoq, 1989**).

Ainsi, l'adulte de *L. migratoria* présente une taille comprise entre 54 à 72 mm chez les femelles et 42 à 55mm chez les mâles. Il se caractérise par des antennes longues et fines ; un corps vert chez

les adultes solitaires et uniformément jaune et noir chez les **grégaire** (**Duranton et al., 1987**).

#### **I.1.3.1.3. - Accouplement**

**Steedman (1988b)**, signale que l'accouplement chez le criquet migrateur est très précoce, il peut s'observer chez les adultes au quatrième jour après la mue imaginale. Quant à **Duranton et al., (1982)**, ils indiquent que l'accouplement est toujours précédé par des parades sexuelles que les mâles font, manifeste par : l'embuscade, la poursuite, les stridulations, le battement des ailes au sol et les vols spéciaux pour informer les femelles de leurs présences. Ainsi, pour s'accoupler, la mâle grimpe sur la femelle, l'extrémité de son abdomen tordue sur le côté (**Chopard, 1938**), le spermatophore est introduit dans la spermathèque de la femelle le sperme se trouve transféré dans les organes femelles (**Grassé, 1949**).

#### **I.1.4. - Grégarisation et Polymorphisme phasaire**

Les locustes diffèrent des sautereaux car ils ont la capacité de changer de comportement, de physiologie et de morphologie, en particulier de couleur et de forme, en réponse à des changements de densité. La grégarisation chez les acridiens, consiste essentiellement en l'acquisition par des individus de la phase solitaire de l'instinct grégaire (psychisme grégaire ou grégarisation), dont la manifestation élémentaire superficielle est celle d'une interaction (**Rabaud, 1937** cité par **Bredo et Pasquier, 1967**).

La transition de la phase solitaire à la phase grégaire, et vice versa, constitue une phase transitoire et on parle alors de criquets transiens. Si la densité acridienne augmente, on parle de transiens congregans et, si elle diminue, de transiens dissocians (**Symmons et Cressman, 2001**).

De ce fait, il existe deux phases différentes chez les locustes : la phase solitaire et la phase grégaire. Quand les densités acridiennes sont faibles, les individus sont solitaires. Quand les effectifs acridiens augmentent, des groupes denses se forment et les criquets deviennent grégaire. Le principal facteur déclenchant ce passage d'une phase à l'autre est la densité (**Duranton et Lecoq, 1990**).

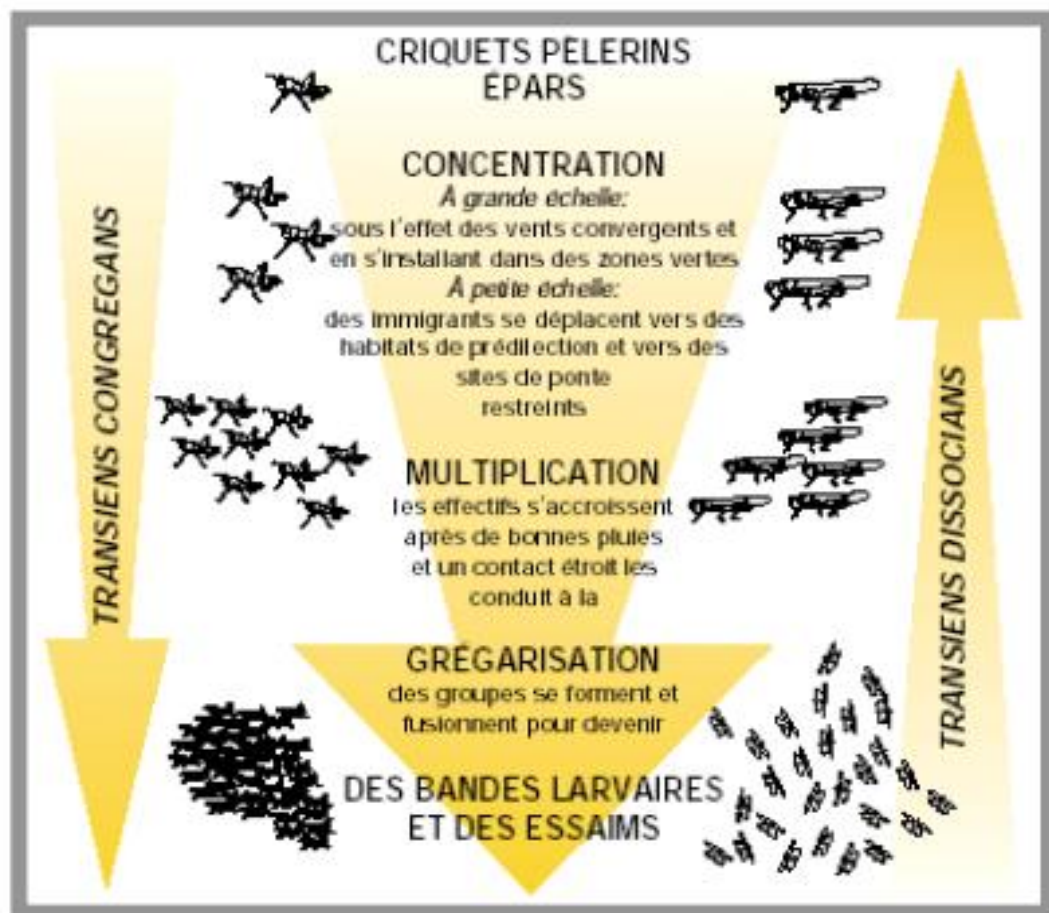
L'espèce *Locusta migratoria* est une locuste très sensible qui peut passer d'une forme solitaire à une forme grégaire dès que la densité dépasse un seuil critique de 2 000 ailés/hectare en zone subtropicale. Le polymorphisme phasaire s'exprime par des différences morphologiques, anatomiques, physiologiques, écologiques et comportementales (**Anonyme, 2007**).

D'après **Popov et al., (1991)**, la transformation phasaire, dans les deux sens, se produit aisément et fréquemment. Les extrêmes phasaires sont très distincts tant sur le plan éthologique que sur les plans physiologique et morphologique. Trois étapes se succèdent dans la transformation

phasaire : concentration, multiplication et grégarisation (**figure 2**).

En plus de l'effet de la densation, d'autres facteurs semblent intervenir dans l'expression du polymorphisme phasaire tels que la photopériode, la température, la sécheresse, la qualité de l'alimentation, la teneur en gaz carbonique, ainsi que la salinité du sol (**Appert et Deuse, 1982**).

L'intérêt du polymorphisme phasaire paraît évident puisqu'en phase grégaire l'insecte étend son aire de dispersion et que tous les foyers potentiels sont réensemencés. Par contre, en phase solitaire, la mobilité des imagos et la dispersion des individus et des foyers de reproduction rend l'espèce beaucoup moins vulnérable aux ennemis naturels qui n'ont pas les mêmes capacités déambulatoires (**Duranton et Lecoq, 1990**).



**Figure 2** : Les étapes de transformation phasaire (**Symmons et Cressman, 2001**)

### **I.1.5. - Préférences alimentaires, dégâts et importance économique de *Locusta migratoria***

Selon **Raccaud-Shoeller (1980)**, le criquet s'approprie tous les éléments nécessaires à sa survie dans son régime phytophage habituel. Cette nourriture doit lui assurer ses besoins nutritionnels et énergétiques essentiels à l'entretien de ses organes pour une croissance et une reproduction normale.

**Duranton et al., (1982)**, indiquent que le comportement alimentaire des acridiens peut être décrit par trois séquences bien distinctes dans le temps : la quête alimentaire, le choix des aliments et la prise de nourriture suivie d'ingestion.

Le criquet migrateur est un ravageur majeur en période d'invasion. Les dégâts sont essentiellement limités aux graminées (mil, maïs, riz, canne à sucre, blé...) mais bananier, ananas, palmier à huile et palmier dattier peuvent être également atteints en période d'invasion (**Launois-luong et Lecoq, 1989**).

A l'état solitaire, on peut rencontrer le Criquet migrateur dans les milieux mésotrophes dans l'ensemble de son aire de distribution. Des aires grégariques partent les essaims, prélude à l'invasion généralisée. Les phénomènes de crue et surtout de décrue en saison sèche dans le delta du Niger mettent à jour des biotopes refuges pour l'espèce à une période de l'année où elle est en grande difficulté du fait de l'assèchement du milieu environnant. Les zones découvertes par le retrait des eaux bénéficient d'une humidité résiduelle et d'une végétation restée temporairement turgescence qui sédentarise les populations acridiennes. L'amorce de la grégarisation s'effectue lorsque la vitesse de retrait des eaux découvre de grandes surfaces qui s'assèchent rapidement et contraignent les criquets à se regrouper sur des aires de plus en plus restreintes. L'élévation densitaire augmente les contacts interindividuels et déclenche le processus de la transformation phasaire (**Launois-Luong et Lecoq, 1989**).

La dernière invasion du criquet migrateur Malgache qui remonte à 1992 a accentué la famine chez les populations rurales du Sud de Madagascar qui souffraient déjà de mal nutrition (**Anonyme, 1992**).

### **I.1.6. - Les milieux de vie du criquet migrateur**

Le criquet migrateur recherche la chaleur (optimum thermique autour de 20°-25°C), des milieux moyennement humides et colonise des steppes ou des savanes à faible couvert ligneux (**Anonyme, 2007a**).

Aussi, *Locusta migratoria* est selon **Launois-Luong et Lecoq (1989)**, une espèce hygromésophile, géo-phytophile et graminivore. On la trouve dans les formations herbacées denses sur sols alluviaux. Son optimum pluviométrique est d'environ 50 à 100 mm de pluie par mois en phase

solitaire ; il est de 25 à 100 mm par mois en phase grégaire.

### **I.1.7. - Stratégies de lutte antiacridienne**

#### **I.1.7.1. - La lutte préventive**

L'objectif principal de la lutte préventive est d'altérer la tendance évolutive d'une situation acridienne avant d'en subir les effets néfastes (**Launois-Luong et al., 1988, Popov et al., 1991**). Elle reste essentiellement fondée pour les locustes, sur la surveillance des aires grégarigènes, en dehors des zones de culture, de façon à intervenir précocement et efficacement sur les premières concentrations de criquets et éviter une invasion généralisée.

Les pullulations acridiennes peuvent être gérées efficacement par l'application des stratégies de prévention, élément important dans le dispositif de lutte contre la pauvreté de nombreux pays. Ces stratégies consistent à surveiller en permanence les aires grégarigènes et à détruire les premières pullulations par des interventions de lutte sur des superficies limitées (**Lecoq, 2004**).

Ainsi dans les aires grégarigènes de *L. migratoria*, le renforcement des réseaux de surveillance par l'utilisation des satellites écologiques et météorologiques permettrait de fournir des indications rapides sur les sites potentiellement favorables de cette locuste. Par ailleurs, dans le cadre d'une optique opérationnelle, la biomodélisation gérée par voie informatique, permet de prévoir 70 % des macro-événements acridiens, selon **Duranton et Lecoq (1990) et Launois-Luong et Lecoq (1993)**.

Actuellement, la lutte préventive contre le criquet migrateur est assurée actuellement par les services de la protection des végétaux des pays concernés (**Mason et Mchive, 1990; Popov, 1996**).

#### **I.1.7.2. - La lutte mécanique**

Les méthodes de lutte mécanique contre les acridiens sont les plus anciennes. Elles diffèrent selon qu'il s'agit de détruire physiquement les œufs, les larves ou les ailés. La destruction des œufs s'obtient en labourant les terres de 10 à 15 cm pour atteindre les pontes les plus profondes, cette méthode exige des zones cultivées car le labour ne peut pas être réalisé pour les sols inaccessibles au tracteur ou à la charrue. Les destructions des larves et des jeunes ailés à tégument non durcis se font en rassemblant les acridiens dans un fossé préparé à l'avance. Le rabattage est pratiqué en agitant des vêtements, des feuillages, ou en faisant du bruit (tambours, cris, chants). Le feu est entretenu sur des cordons de feuillages, d'herbes sèches, ou allumé au lance-flamme. Les ailés grégaire sont difficiles à détruire mécaniquement excepter à l'aube et au crépuscule où ils sont posés au sol. Des lance flammes et des grenades ont été utilisés contre eux (**Duranton et al., 1982**).

### **I.1.7.3. - La lutte écologique**

La lutte écologique, qui est une des formes de la lutte préventive, a pour but de rompre la synchronisation entre le cycle biologique de l'acridien et son environnement, tout en ayant une connaissance approfondie du tempérament écologique de l'espèce. Nombreux auteurs tels que **Remaudière (1954) et Têtefort et Wintrebert (1963)** ont proposé un meilleur entretien des champs par un désherbage et un binage soignés, ainsi qu'un drainage accéléré des plaines, comme dans la zone d'inondation du fleuve Niger, au Mali. **Duranton et al., (1982, 1987)** préconisent un contrôle des déforestations afin d'éviter la formation des clairières, le semis de plantes répulsives et la suppression des jachères.

On peut citer comme moyens mécaniques la destruction des oothèques par labour, la destruction des adultes et des jeunes larves par abattage, ainsi que le ramassage et écrasement des insectes à l'aube, lorsqu'ils sont peu actifs. La lutte thermique utilise les vertus crématrices du feu.

### **I.1.7.4. - La lutte biologique**

La lutte biologique est une alternative pour assurer une meilleure protection de la santé et de l'environnement. La lutte avec des agents biologiques offre des possibilités pour stopper l'invasion acridienne, tout en préservant la santé et l'environnement. Des espèces animales et végétales ont été identifiées dans le monde comme ayant un potentiel d'utilisation en lutte antiacridienne (**Thiam A. et al., 2004**).

La lutte biologique peut utiliser des lâchers d'insectes parasites ou prédateurs, l'utilisation d'agents pathogènes (champignons, virus, bactéries), l'emploi de méthodes génétiques et la sélection de variétés résistantes, ainsi que l'utilisation de plantes acridifuges ou acridicides (**Lomer et Prior, 1992**).

#### ➤ ***Les insecticides microbiens***

L'intérêt pour les insecticides microbiens s'est manifesté à la suite de nombreux problèmes directement ou indirectement associés à l'utilisation des insecticides chimiques. Ceux-ci ont entraîné l'apparition de résistances des insectes nuisibles et se sont révélés toxiques pour les mammifères et pour des insectes non visés mais aussi pour certaines plantes (**Vincent et Coderre, 1992**).

#### ➤ ***Les champignons entomopathogènes***

Les champignons entomopathogènes qui infectent les criquets font surtout partie de la sous division des Deuteromycotina : les espèces *Metarhizium anisopliae*, *M. flavoviride* et *Beauveria bassiana* semblent infecter la plupart des acridiens (**Greathead et al., 1994**).

Les champignons peuvent tuer très rapidement en l'espace de quelques heures, ou plus lentement par épuisement de l'hôte (**Luong-Skormand et al., 1999**).

➤ **Les virus**

Parmi les sept familles des virus, ce sont les *Baculoviridae*, les *Reoviridae* (**Miller et al., 1983**) et le virus entomopox (*poxviridae*) qui sont les plus utilisés en lutte biologique (**Payne, 1982**). Il est apporté par **Meynadier et al., (1992)** que dans certains cas, les virus liquéfient les corps gras entraînant une turgescence de l'insecte suivi de sa mort.

➤ **Les plantes acridifuges ou acridicides**

La lutte biologique s'est, également, orientée vers l'exploitation des composés secondaires provenant des plantes toxiques contre les insectes ravageurs des cultures. **De Simmons et al., (1992)** cité par **De Kouassi (2001)** note que plus de 59 familles botaniques et 188 genres de plantes sont utilisées pour la répression des insectes ravageurs. Ces plantes contiennent des substances qui ont des propriétés anti-appétantes, répulsives ou même insecticides. **Kaidi (2018)** cite de nombreuses espèces végétales ayant été testées, au laboratoire, afin d'étudier leurs propriétés insecticides et leur toxicité, en particulier sur le criquet pèlerin. Il s'agit de : *Azadirachta indica* (Juss.) (Méliaceae), *Xylopi aetiopica* (Dunal) (Annonaceae), *Melia azerdarach* L. (Méliaceae), *Scilla maritima* L. (Liliaceae), *Peganum harmala* L. (Zygophyllaceae), *Glinus lotoides* L. (Aizoaceae), *Calotropis procera* (Aiton) (Asclepiadaceae), etc.

➤ **Les bactéries entomopathogènes**

Plus d'une centaine de bactéries ont été identifiées comme ayant un potentiel d'utilisation en lutte biologique (**Starnes et al., 1993**). Les espèces entomopathogènes appartiennent surtout à trois grandes familles qui sont les Bacillaceae (*Bacillus*), Enterobacteriaceae (*Serratia* et *Xenorhabdus*) et Pseudomonaceae (*Pseudomonas*) (**Greathead et al., 1994**).

La lutte organisée contre les invasions acridiennes s'est largement structurée au fil des avancées scientifiques et techniques qui ont accompagné l'émergence d'une rationalisation bureaucratique des problèmes. Pourtant, les sciences de la nature, plus particulièrement l'acridologie, qui nourrissaient tous les espoirs d'une victoire contre ce fléau, montrent leurs limites. Elles ne parviennent pas à répondre à toutes les questions qui se posent, et l'accroissement des connaissances écologiques ne semble plus corrélé à une meilleure efficacité de la lutte (**Lecoq, 2005**).

## I.2. - Généralités sur Le Pommier de Sodome *Calotropis procera* Ait.

L'Algérie, notamment le Sahara algérien est caractérisée par sa richesse en plantes aromatiques, médicinales et autres possédant des propriétés biologiques très intéressantes, lesquelles trouvent application dans divers domaines. Nos recherches bibliographiques sur ces plantes spontanées, plus précisément dans les biotopes de survies du criquet migrateur et du criquet pèlerin, nous ont permis de constater la présence de pas mal d'espèces végétales présentant des propriétés antiappétantes, répulsives et même toxiques contre les acridiens grégaires, tel que le Pommier de Sodome *Calotropis procera*. Cette dernière présente des caractéristiques assez intéressantes, elle a une croissance rapide et pousse à toutes les saisons et qu'elle peut offrir une source de biomasse végétale régulièrement disponible (Von Maydell, 1990). Les extraits aqueux et alcooliques de racines ne sont pas toxiques contrairement aux feuilles et aux tiges qui renferment du latex dont la toxicité est bien connue et redoutable (Hifsa, 2010; Pandey, 2007).

### I.2.1. - Classification botanique

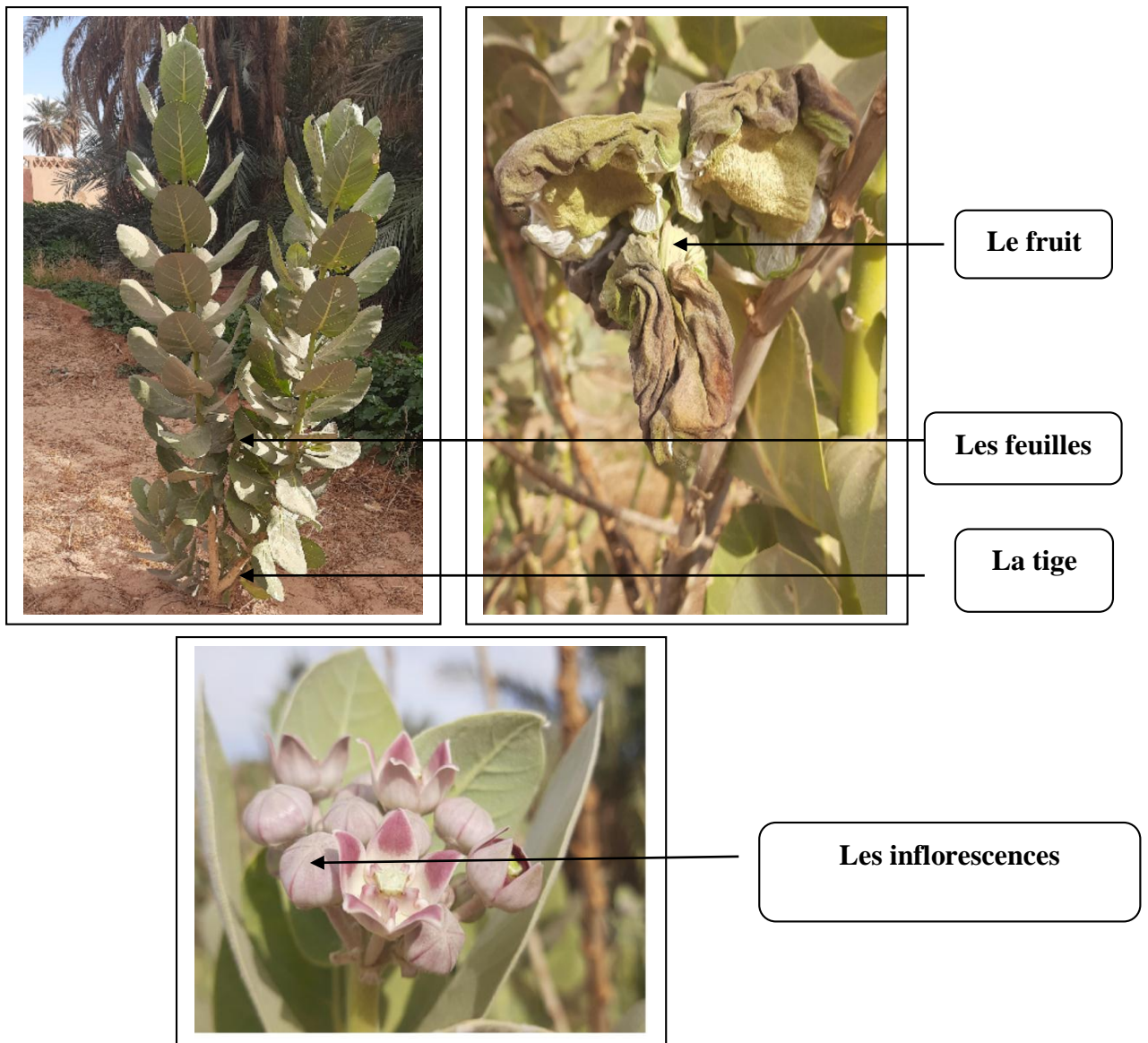
<b>Règne</b>	Végétal
<b>Embranchement :</b>	Spermaphytes
<b>Sous-embranchement :</b>	Angiospermes
<b>Classe :</b>	Dicotylédones
<b>Sous-classe :</b>	Gamopétales
<b>Ordre :</b>	Gentianales
<b>Famille :</b>	Asclépiadacées
<b>Genre :</b>	<i>Calotropis</i>
<b>Espèce :</b>	<i>Calotropis procera</i> (Aiton, 1811)

### I.2.2. - Description botanique

L'espèce *Calotropis procera* est une espèce ligneuse polymorphe (buisson, arbuste, voire même petit arbre) et largement répandue (Duranton et al., 2012).

Selon les lieux, le pommier de Sodome est un arbuste nettement divergent à la base, d'environ 2 m de haut, ou un arbre au tronc droit, à cime irrégulière. Il atteint parfois 4 m (figure 3). L'écorce est de couleur blanc jaunâtre, subéreuse en plaque et crevassée sur les vieux individus. Le latex est blanc toxique, qui s'écoule à la moindre blessure (Benchelah et al., 2006). Les rameaux sont finement pubescents et glauques. Les feuilles sont opposées, sessiles, plus ou moins succulentes, vert glauque sur le dessus et gris-vert en-dessous, largement obovales ou oblongues de 15-30×70 –15 cm, à sommet arrondi ou en coin court, à base cordée. Le limbe comporte des

nervures plus ou moins palmées à la base, une nervure centrale épaisse et 8–10 paires de nervures secondaires peu saillantes se raccordant vers le sommet. Les inflorescences sont à cyme ombelliforme de 10 cm de large, disposée à l'aisselle des feuilles. Les fleurs sont de couleur blanc-vert et violette, de 2 à 3 cm de diamètre, à 5 pétales. Les fruits se présentent sous forme de gros follicules renflés, ovoïdes, de la taille d'une mangue, verts, mous et remplis d'air. La graine est aplatie, surmontée à un bout d'une touffe de soies blanches. La floraison se fait toute l'année, aussi bien en saison sèche qu'en saison des pluies. La reproduction se fait par les graines (Quézel et Santa, 1963 ; Nacoulma, 1996 ; Arbonnier, 2002 et Duranton et al., 2012).



**Figure 3 :** Les différentes parties de l'espèce *Calotropis procera* Ait (originales)

### I.2.3. - Origine et biogéographie de *Calotropis procera*

Le pommier de Sodome est une plante introduite en Afrique, en provenance de l'Asie (Seignobos, 2016). D'origine paléotropicale selon Duranton et al., 2012 et largement répandue de la Côte d'Ivoire au Maroc, *C. procera* est également rencontrée en Inde, au Pakistan (Benchalah et al., 2006). Caractérisée comme une espèce commune dans le Sahara central et méridional (Chopra et al., 1960), elle est très répandue en Afrique de l'Ouest et de l'Est ainsi que dans les autres régions des tropiques (Irvine, 1961 cité par Dossou et al., 2006).

Sa distribution irrégulière, est localement commune et grégaire. C'est une espèce sahélienne qui préfère les sols alluviaux sablo-limoneux, tolérant la présence de graviers ou de cailloux (Arbonnier, 2002 ; Duranton et al., 2012). C'est une plante qui les terres sableuses, investit les oueds et les espaces où l'humidité est encore conservée à faible profondeur. Le pommier de Sodome se développe rarement à une altitude de 1500 m, car il ne supporte pas le froid. Il investit les zones dont la végétation arborée a disparu. On a observé que sa présence correspond à une lente dégradation des sols, il s'installe de fait sur les terres usées, à végétation pauvre (Benchalah et al., 2006).

*C. procera* est une espèce qui colonise les alluvions d'origine éolienne ou hydrique offrant de bonnes réserves hydriques. Son grand pouvoir de dispersion lui permet de constituer des faciès souvent temporaires (quelques années). Elle peut être considérée comme localement envahissante (Duranton et al., 2012).

### I.2.4. - Composition chimique de *Calotropis procera*

Les constituants chimiques isolés des différentes parties de *C. procera* sont énumérés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 1** : Constituants chimiques de *Calotropis procera* Ait. (Hans-Dieter Neuwinger, 1990 cité par Thiaw, 2008).

Parties de la plante	Groupe de substances	Substances isolées
Feuilles	Cardénolides	Calotropine (0.165%), Calotropagénine (0.087%)
		Uscharine, Uscharidine, Calotropine, Calotoxine, Uzarigénine, Acide-19-calotropine
		Proceroside
	Polysaccharide	D-glucose + D-arabinose + D-glucosamine + L-rhamnose
		Mudarine, Calotoxine, Calactine

<b>Racines</b>	Glycosides	GlycosideC21-stérolique, Benzoylisolinéolone
	Digitanols	Rutine 1.66% (quercétine-3-rhamnose)
	Triterpène	$\alpha$ -amyrine
<b>Tiges</b>	Glycosides cardiotoniques	Uscharidine, Calotropine, Proceroside
	Cardénolides	Calotoxine, Calactine, Ascléposide, Uzarigénine, Calotropagénine, Coroglaucigénine
<b>Fruits</b>	Cardénolides	Coroglaucigénine (1%), Uzarigénine (0.17%) Calactine (0.17%), Calotropagénine (0.08%), Calotropine (0.08%)
<b>Fleurs</b>	Flavonoïde	Rutine 7.66%
	Anthocyanine	Cyanidine-3-rhamno-glucoside
	Stérol	Procestérol
<b>Latex</b>	Stérol	Taraxastérol ( $\alpha$ -lactucérol)
		$\beta$ -sitostérol, Stigmastérol
		Taraxastérol, O-acéthyl-taraxastérol
	Acides triterpéniques	Acide isovalérique, Acide pyrotérébique Acide méthylréductique
	Hétérosides cardénolides	Calotropine, Calotropagénine, Calotoxine, Calactine
	Alcaloïdes	Uscharine, Uscharidine, Voruscharine
	Alcaloïdes	$\alpha$ -amyrine et $\beta$ -amyrine
	Triterpènespentacycliques	Calotoxine, Calactine
	Protéase	Choline
Enzyme protéolytique	Calotropaine	

### I.2.5. - Utilisation de *Calotropis procera*

Les parties utilisées en générale sont les feuilles, le latex, les racines, les écorces, et les tiges.

En effet, les poudres de racines et/ou d'écorces sont utilisées comme purgatif, émétique et contre-poison dans du lait frais ou caillé, mais aussi comme traitement des états anxieux et folie. Elles sont également utilisées en Inde pour combattre la lèpre, l'Eléphantiasis et la Dysenterie (Dièye, 1990 cité par Thiaw, 2008).

La poudre sèche obtenue à partir de la tige stomacique est anti-diarrhéique. Les feuilles et le latex sont d'une grande importance. Une macération aqueuse de feuilles est un bon vermifuge contre les vers de guinée. Le latex est très utile comme cicatrisant et antiseptique. Il est utilisé également pour cailler le lait et épiler les peaux (Berhaut, 1975).

Au Mali, le bois et l'écorce sont donnés aux vaches pour augmenter la lactation. Le bois très léger donne un charbon de bois pour usages spéciaux. On l'utilise pour allumer le feu ou pour

les flotteurs des filets de pêche. Les perches sont utilisées par endroits dans la construction, pour les toits légers. Il résiste aux termites (**G.R.I.P.T, 2001** cité par **Thiaw, 2008; Berhaut, 1971**).

Quant aux racines de *C. procera* en macération associées aux racines sèches de *Nauclea latifolia* Sm. (Rubiaceae) et de *Gardenia ternifolia* Schum. (Rubiaceae) en quantités égales, sont utilisées contre les douleurs ostéo-articulaires de la crise drépanocytaire en bain et massage des articulations (**Parvais, 2000**). Les feuilles, les écorces et les racines sont employées pour combattre divers maux au plateau mossi : douleurs rhumatismales, céphalées, diarrhées, syphilis, épilepsie, dermatose, asthme etc. (**Parvais, 2000**).

Au Bénin, les feuilles en décoction aqueuse per os, sont indiquées pour le traitement de la toux, des filarioses et de l'anasarque. L'infusion et le décocté des feuilles sont utilisés respectivement dans le traitement de l'hypertension artérielle et de l'œdème. Le latex est appliqué localement sur la dent malade. La poudre de racine est conseillée à la femme présentant une dystocie (**G.R.I.P.T, 2001**).

Il est à noter que le latex peut présenter un danger pour les yeux à cause de la présence de la calotropine qui est caractérisée par des principes actifs très virulents présents dans le latex, on note en particulier la calotropine (**Benchelah et al., 2006**). Les propriétés coagulantes de pommier de Sodome sont très intéressantes. Le *Calotropis procera* est utilisé comme coagulant dans la fabrication du fromage par les éleveurs, en particulier au Bénin et au Nigeria (**Dossou et al., 2006**).

# Chapitre II: Matériels et Méthodes

## II.1. - Problématique et Objectifs :

En Algérie, comme dans tous les pays concernés par les invasions acridiennes, les dégâts, voire même ravages causés par le Criquet pèlerin et le criquet migrateur en période d'invasion sont inestimables et catastrophique. Ce qui est demeure être une grande préoccupation pour les pays du Maghreb, du Sahel, et notamment pour l'Algérie. Ainsi, le développement des recherches sur les acridiens grégaires, depuis le début du siècle, permet progressivement de mieux comprendre le phénomène de déclenchement des invasions et de proposer plusieurs stratégies de lutte mais avant tout, une lutte préventive est nécessaire, ce en ayant recours principalement à la lutte biologique dans les foyers de reproduction, notamment l'utilisation des plantes acridifuges et acridicides. Ces dernières sont caractérisées activité toxique qui fait référence à leur capacité de tuer ou à réduire les populations de criquets ou d'autres insectes nuisibles. Cette activité dépend de la composition de la plante et de la sensibilité de l'espèce ciblée.

De ce fait, l'utilisation des plantes acridicides pour contrôler les populations de criquets peut être efficace dans certaines situations, mais elle doit être utilisée avec précaution en raison des risques environnementaux associés et de contribuer, ainsi, à la réduction de l'utilisation drastique des pesticides chimiques.

C'est dans ce cadre que se trace l'objectif principal de notre modeste travail, soit l'étude de l'activité biologique de *Calotropis procera* contre le criquet migrateur *Locusta migratoria*.

## II.2. - Matériels utilisés

### II.2.1. - Matériel animal

L'espèce acridienne utilisée pour cette expérimentation est le criquet migrateur *Locusta migratoria* **Linné (1758)**. Les individus de cet acridien, provenant de la wilaya d'Adrar, ont été placés dans une salle d'élevage au niveau de la Division Protection des Culture de l'Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie (**I.N.R.A.A., Station expérimentale de Mehdi Boualem, Baraki**).

### II.2.2. - Matériel végétal

Lors de notre présente étude, nous avons utilisé les feuilles fraîches du Pommier de Sodome *Calotropis procera* provenant d'Oued Amded (Wilaya de Tamanrasset) (**figure 4**).



**Figure 4 :** Les Feuilles fraîches de *Calotropis procera* collectées à Tamanrasset  
(originales)

### II.3. - Méthodologie de travail

#### II.3.1. - Elevage de masse des criquets

L'élevage de masse des individus a été effectué dans deux cages parallélépipédiques d'une dimension de 85× 45 × 75 cm pour la première cage consacrée aux adultes et 45 x 35 x 50 cm pour la deuxième cage destinée au stades larvaires. Ces cages sont grillagées en métal inoxydable et à mailles fines sur les deux côtés pour l'aération. Elles sont, également, munies de deux vitres coulissantes, ceci afin de permettre le nettoyage et le renouvellement de la nourriture ainsi que la vérification des pondoirs (pour la première cage). Ces derniers sont d'environ 15 cm de profondeur, remplis de sable stérilisé et humidifié (**figure 5**).

Chaque cage est éclairée d'une manière alternative à l'aide de deux ampoules et servant au chauffage de la salle. Une température moyenne de  $30 \pm 4^\circ\text{C}$  et une humidité de l'air de l'ordre de  $75 \pm 3\%$ , sont maintenues constantes. Une photopériode de 12 heures de lumière sur 12 heures d'obscurité, est assurée. L'alimentation fraîche est composée de gazon, chou, laitue et un complément de son de blé. La nourriture est renouvelée tous les jours ainsi que le nettoyage des cages.

Ces dernières doivent être désinfectées avec de l'alcool et de l'eau de Javel pour éviter toute contamination.

Une fois les pontes effectuées, les oothèques déposées par les femelles dans les pondoires sont récupérées et placées dans des bacs de plus de 15 cm de profondeur, troués à la base pour permettre l'infiltration de l'eau, contenant du sable humide et stérilisé (**figure 6**).

Ces bacs sont recouverts d'une toile moustiquaire pour l'aération et portent les indications nécessaires telles que la date de la ponte et le nombre d'œufs. Le contrôle de ces bacs se fait quotidiennement pour la vérification de l'humidité du sable et les éclosions des œufs, afin d'éviter le dessèchement des œufs et la mort des larves néonates, ces dernières sont récupérées et mises dans une autre cage réservée à l'élevage des larves de tous les stades.

Nous avons, aussi, muni les cages d'élevage de perchoirs afin de permettre aux différents stades larvaires d'effectuer leurs mues.



**Figure 5 :** Elevage en masse de *Locusta migratoria* au niveau du Laboratoire de Protection des Culture (INRAA) (**originales**)



**Figure 6 :** Les bacs destinés au développement embryonnaire des individus de *L. migratoria* (originales)

### II.3.2. - Réalisation du screening phytochimique de *C. procera*

Le screening ou criblage phytochimique est une étude qualitative qui permet de détecter les différentes familles chimiques présentes dans une plante par des réactions de colorations, de précipitation et d'observations.

Ainsi nous avons séparé les feuilles de *C. procera* qui ont été, par la suite séchées pendant 15 jours et enfin broyées. Les différents tests sont ensuite effectués soit sur la poudre ou bien sur l'infusé. Les étapes du screening chimiques sont mentionnées dans le tableau suivant :

**Tableau 2 :** Les différentes étapes du screening phytochimique (El-Haoud et al., 2018)

Les métabolites recherchés	Mode opératoire
<b>Alcaloïdes</b>	Les tests sont réalisés par des réactions de précipitation avec le réactif de Dragendorff. Introduire 10 g de poudre végétale sèche dans un erlenmeyer, à laquelle 50ml de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> dilué au 1/10 avec de l'eau distillée est ajouté. Ce mélange a été agité et macéré pendant 24 h. Ensuite, dans 1ml du filtrat, 5 gouttes de réactif de Dragendorff sont ajoutées. L'apparition d'un précipité orange, révèle la présence d'alcaloïdes
<b>Composés réducteurs</b>	Leur détection consiste à introduire 2ml de l'extrait aqueux dans un tube à essai, puis 2ml de la liqueur de Fehling sont ajoutés. Ensuite, l'ensemble est porté au bain-marie bouillant durant 8 min. L'obtention d'un précipité rouge brique indique la présence des composés réducteurs
<b>Tanins</b>	La présence des tanins est mise en évidence en ajoutant à 1 ml de chaque extrait, 1 ml d'eau et 1 à 2 gouttes de solution de FeCl <sub>3</sub> diluée à 1%. L'apparition d'une coloration verte foncée ou bleue verte indique la présence des tanins. L'apparition d'une coloration verte foncée indique la

	présence des tanins caté chiques. L'apparition d'une coloration bleu-vert indique la présence des tanins galliques
<b>Flavonoïdes</b>	: Les flavonoïdes ont été recherchés par la réaction à la cyanidine. Deux (2) ml de chaque extrait ont été évaporés et le résidu a été repris dans 5 ml d'alcool chlorhydrique dilué 2 fois. En ajoutant 2 à 3 copeaux de magnésium, il y a un dégagement de chaleur puis une coloration rose orangé ou violacée. L'addition de 3 gouttes d'alcool iso amylique a intensifié cette coloration qui a confirmé la présence de flavonoïdes
<b>Saponines</b>	Dans une série de 10 tubes à essai numérotés de 1 à 10, introduire respectivement 1, 2, 3, 10 ml de la solution à analyser préparé par décoction en milieu aqueux, hydro alcoolique ou par infusion. Ajuster le volume de chaque tube à 10 ml avec de l'eau distillée. Agiter chaque tube dans le sens de la longueur du tube pendant 15 secondes à raison de 2 agitations par seconde. Laisser reposer 15 min et mesurer la hauteur de la mousse produite dans chaque tube. L'indice de mousse (I) est calculée par la formule suivante : $I = 1000 / N$
<b>Quinones libres</b>	Quinones libres : Un gramme de matériel végétal sec broyé est placé dans un tube avec 15 à 30 ml d'éther de pétrole. Après agitation et un repos de 24 h, les extraits sont filtrés et concentrés au rota vapeur. La présence de quinones libres est confirmée par l'ajout de quelques gouttes de NaOH 1/10, lorsque la phase aqueuse vire au jaune, rouge ou violet
<b>Huiles essentielles</b>	1 g de matériel végétale a été introduit dans 10 ml de dichlorométhane puis l'extrait a été évaporé à sec. Le résidu a été ensuite dissous dans 3 ml d'éthanol. Puis, la solution a été évaporée à sec de nouveau. La sensation d'une odeur parfumée indique la présence d'huiles essentielles
<b>Mucilages</b>	Introduire 1 ml de décocté dans un tube à essai, puis 5 ml d'alcool absolu est ajouté. L'obtention d'un précipité floconneux après agitation indique la présence de mucilages [
<b>Coumarines</b>	Dans une capsule, 5 ml d'extrait éthérique est évaporé, puis 2 ml d'eau chaude est ajouté au résidu. La solution est partagée entre 2 tubes à essais. Au contenu de l'un des tubes, 0,5 ml est ajouté de NH <sub>4</sub> OH à 25%. La fluorescence est observée sous U.V à 366 nm. Une fluorescence intense dans le tube où il a été ajouté de l'ammoniaque indique la présence de coumarines

### II.3.3. - Préparation des extraits aqueux de *Calotropis procera*

L'extraction aqueuse de *Calotropis procera* a suivi trois protocoles, soient la macération, l'infusion et la décoction. Le but est de faire passer le maximum de principes actifs depuis la plante vers l'eau.

Dans notre cas, après avoir séché les feuilles de *C. procera* dans une étuve réglée à  $30 \pm 2$  °C, pendant 05 jours, nous les avons broyées à l'aide d'un broyeur pour obtenir une poudre. Par la suite, nous avons choisi la décoction qui est une méthode qui permet, également d'extraire les principes actifs de notre plante. Le principe consiste à faire bouillir 10 gr de poudre de *C. procera* dans 100 ml d'eau ultra pure pendant quelques minutes, puis filtré le contenu à l'aide d'un papier filtre Wattman. Nous avons de ce fait obtenu la solution mère (**figure 7**).

Il est à noter que pour ce bio-essai les doses choisies sont les suivantes :

- ✓ **D1**= 25% de la solution mère
- ✓ **D2**= 50% de la solution mère
- ✓ **D3**= 100% de la solution mère



1-Feuilles fraîches de *C. procera*



6-Les différentes doses de l'extrait aqueux de *C. procera*



2-Broyage de *C. procera*



5-Préparation du décocté de *C. procera*



4-Pesage de *C. procera*



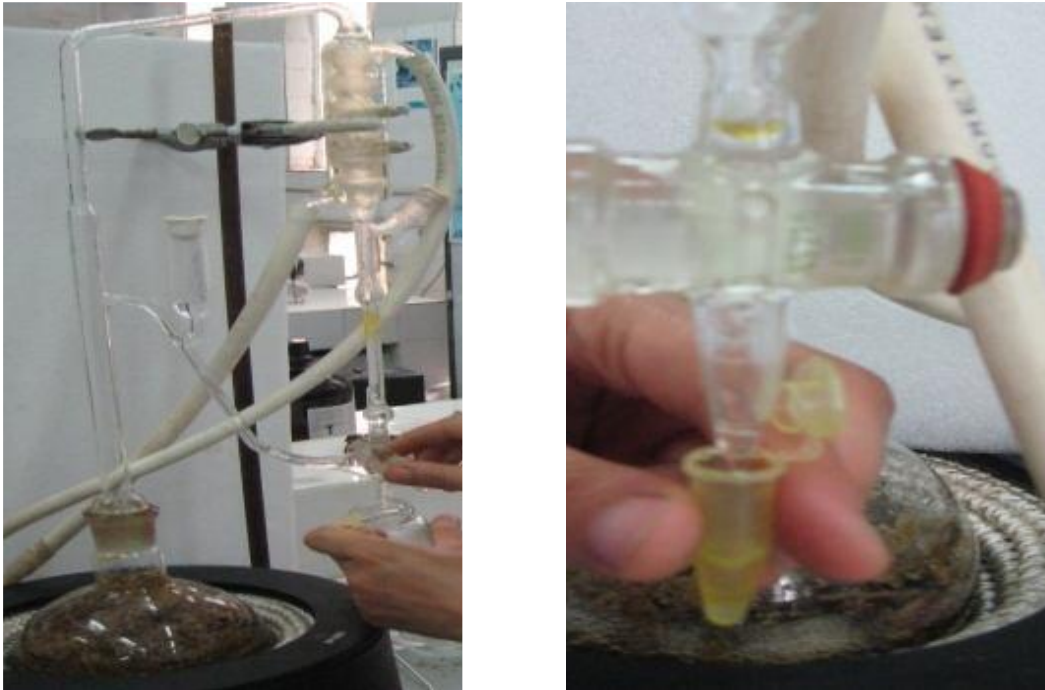
3-Poudre de *C. procera*

**Figure 7** : Préparation de l'extrait aqueux de *C. procera* par décoction (**originales**)

#### II.3.4. - Préparation des huiles essentielles de *C. procera*

L'extraction de l'huile essentielle de *C. procera* a été réalisée par hydro-distillation en utilisant un appareil Clevenger, selon le protocole décrit par **Abd El Galeil et al., (2008)** qui consiste à laisser immerger une masse de matière végétale sèche (100g) dans une enceinte (ballon) contenant 500 ml d'eau distillée, l'ensemble est porté à ébullition durant 3 à 6 heures

jusqu'à stabilisation de la quantité d'huile essentielle (**figure 8**). A la fin de chaque extraction, l'essence a été récupérée par décantation à partir d'un récipient gradué relié à une enceinte (ballon), car celui-là comporte à la fois de l'eau (hydrolat), et de l'huile essentielle qu'il faut séparer à l'aide d'une seringue graduée.



**Figure 8 :** Préparation de l'huile essentielle de *C. procera* par hydro-distillation (**originales**)

### II.3.5. - Traitement des individus

Les bio-essais ont été effectués sur les imagos de *Locusta migratoria* au niveau du laboratoire de Protection des Cultures de l'INRAA (station expérimentale de Mehdi Boualem, Baraki).

Les individus ont été prélevés de leur cage d'élevage et transférés dans des boîtes en plastique transparentes et stériles, recouvertes par un grillage en plastique, afin de permettre l'aération des boîtes. Ces dernières sont placées dans un endroit éclairé à une température de  $30 \pm 5$  °C. Le taux d'humidité est de l'ordre de  $75 \pm 3\%$ , alors que la photopériode est de 12 heures de lumière et 12 heures d'obscurité. Les individus sont alimentés avec de la laitue. Le dénombrement des cadavres et leur retrait se fait quotidiennement pour qu'ils ne soient pas consommés par leurs congénères.

### II.3.5.1. - Traitement à base de l'extrait aqueux de *C. procera*

Pour cette expérimentation nous avons opté pour le traitement par ingestion. Ainsi, les individus sont soumis à un jeûne pendant 24 heures avant le traitement afin de vider leurs tubes digestifs et de les affamer.

Le test consiste à alimenter les adultes par des feuilles fraîches de la plante témoin, soit la laitue *Lactuca sativa* trempées pendant quelques secondes dans l'extrait aqueux de *C. procera*. Les individus témoins sont quant à eux nourris avec des feuilles fraîches de *Lactuca sativa*. Au-delà de trois jours ils sont alimentés par de la laitue non traitée. La mortalité des individus traités est notée quotidiennement.

Notons que le dispositif expérimental est constitué de 04 lots (01 pour les témoins et 03 pour les traités), à raison de 10 individus par lot. L'expérimentation est suivie jusqu'à la mort totale de tous les individus des lots traités, à une température de  $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ , une humidité relative de  $75\pm 3\%$  et une photopériode de 12 h (Lumière) / 12h (obscurité).

### II.3.5.2. - Traitement à base de l'huile essentielle de *C. procera*

Le mode de traitement retenu est celui par contact (pulvérisation) à l'aide d'un atomiseur avec de l'huile essentielle de *C. procera*. La pulvérisation a été faite à raison de 10 ml sur chaque boîte. Cinq répétitions ont été effectuées pour chaque dose. La laitue est placée dans les boîtes après le traitement des individus. L'expérimentation est suivie jusqu'à la mort totale de tous les individus des lots traités, à une température de  $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ , une humidité relative de  $75\pm 3\%$  et une photopériode de 12 h (lumière) / 12h (obscurité).

## II.3.6. - Paramètres étudiés

### II.3.6.1. - Effet sur la mortalité

D'après **Lazar (1968)**, la mortalité est le principal critère d'évaluation de l'effet toxique d'un traitement chimique ou biologique. Le pourcentage de la mortalité observée chez les larves du cinquième stade et les adultes, témoins et traités est estimé selon la formule suivante : **(Mortalité observée = [Nombre de morts / Nombre total des individus] × 100)**.

Les mortalités observées sont ensuite corrigées par la formule **d'Abbot (1925)** :

$$\text{M.C. (\%)} = (\text{M2} - \text{M1} / 100 - \text{M1}) \times 100$$

**Soit :**

**M.C. (%)**: Pourcentage de mortalité corrigé.

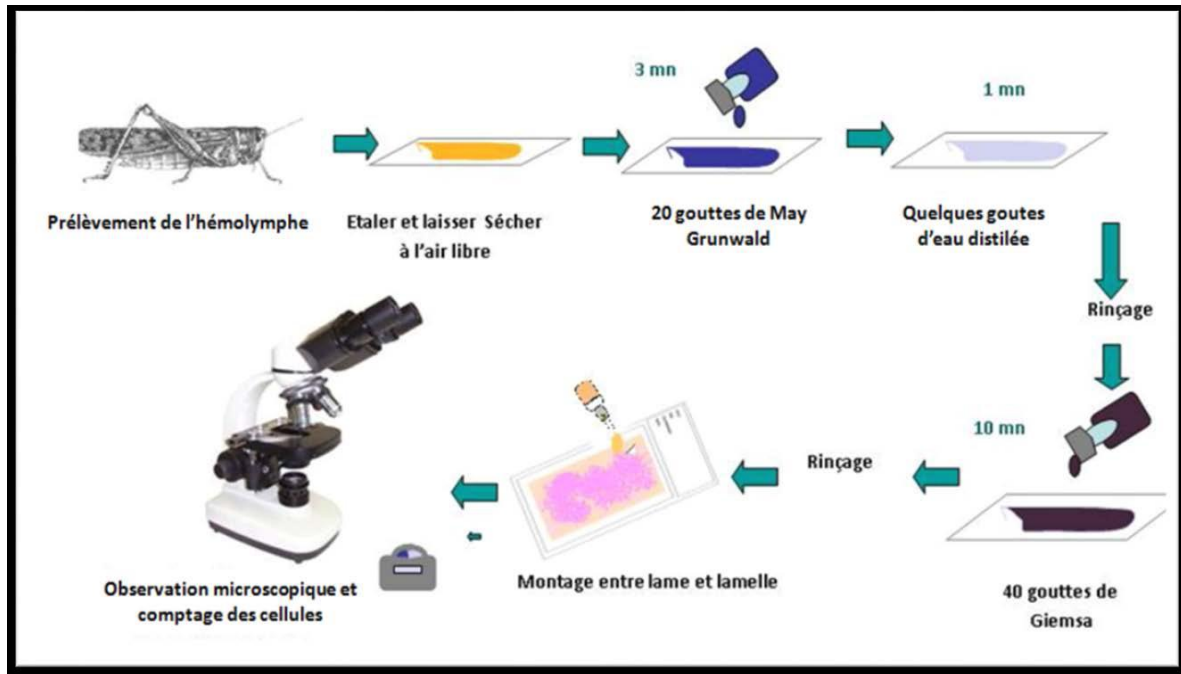
**M1** : Pourcentage de mortalité dans le lot témoin.

**M2** : Pourcentage de mortalité dans le lot traité.

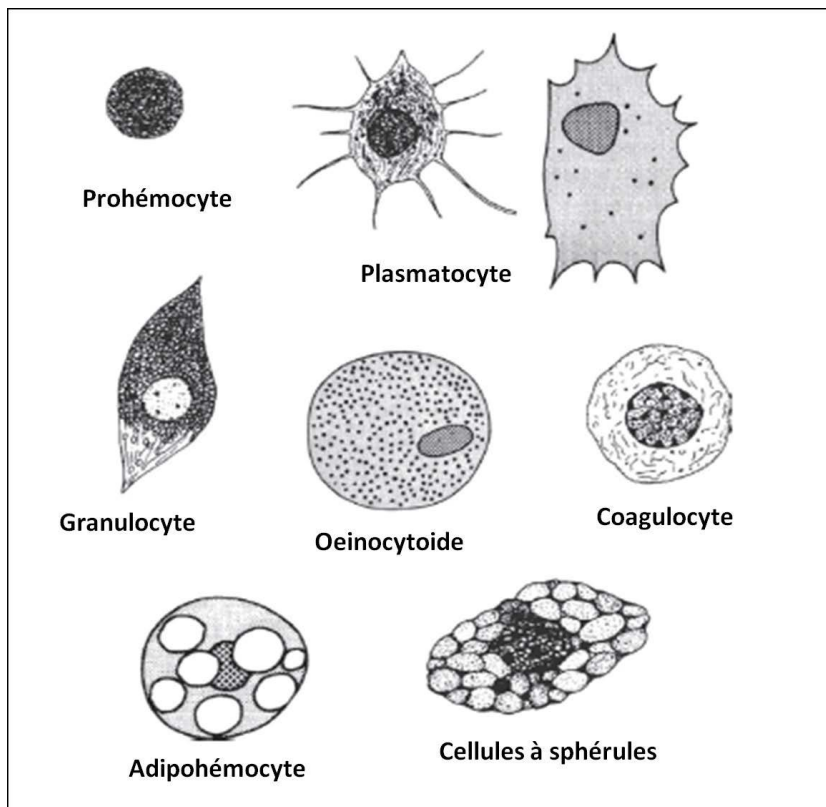
### II.3.6.2. - Effet sur l'hémolymphe

Pour chaque extrait de la plante *C. procera* (extrait aqueux et huile essentielle) nous avons réalisé des frottis hémolympatique des individus témoins et traités. Pour cela l'hémolymphe a été prélevé entre la patte postérieure et le thorax à l'aide d'une micropipette ou d'une seringue. D'après **Guzo et Stoltz (1987)** cités par **Habes et Soltani (1992)**, ce frottis se réalise selon la méthode suivante (**figure 9**) :

- ✓ Prélever 3 à 5µl d'hémolymphe fraîche au moyen d'une micropipette graduée suite à une incision entre la patte postérieure et le thorax.
- ✓ Etaler une couche mince de ce volume, puis faire sécher la lame à l'air.
- ✓ Après séchage, y déposer 20 gouttes de May- Grunwald dilué ou bleu de Méthylène et laisser reposer pendant 3 minutes, on ajoute quelques gouttes d'eau distillée et laisser pendant 1 minute.
- ✓ Enlever l'excès du colorant avec de l'eau distillée par rinçage.
- ✓ Ajouter 40 gouttes de Giemsa et recouvrir la lame et laisser pendant 10 minutes, puis rincer la lame à l'eau courante.
- ✓ Laisser sécher la lame à l'air, après séchage faire un montage entre lame et lamelle en appliquant une fine couche du liquide de Faure aux extrémités de la lamelle, qui sera collée sur la lame puis laissée sécher.
- ✓ Réaliser un balayage des lames sous microscope afin d'observer et de déterminer les différentes catégories hémolympatiques.
- ✓ La détermination des différentes catégories d'hémocytes a été réalisée par comparaison avec les travaux de références de **Wgglesworth (1972)**, **Arnold (1974)** et **Raccaud-Schoeller (1980)**, mais aussi, les récents travaux de recherche réalisés par **Kadota et al., (2003)**, **De Negeiro et al., (2009)**, **Klowden (2013)** et **Rosales (2017)** (**figures 10**).



**Figure 9 :** Les différentes étapes pour la réalisation du frottis hémolymphatique (Guzo et Stoltz, 1987 cités par Habes et Soltani, 1992)



**Figure 10 :** Illustration des hémocytes les plus communs chez les insectes (Woodring, 1985, cité par Frassens, 2006 et Klowden, 2013)

### II.3.7. - Exploitation des résultats

#### II.3.7.1. - Détermination de la dose létale (DL 50)

Pour calculer les DL50 (dose nécessaire pour tuer la moitié d'une population) pour chaque dose de chaque produit dans les deux types de traitement, on a transformé les doses en logarithmes décimaux et les valeurs de pourcentages de mortalité en probits en se servant de la table de Bliss cité par **Cavelier (1976)**. Ceci nous permet d'obtenir des équations de droites de régression de type

$$Y = ax + b$$

**Y** : Probit de mortalité corrigée

**X** : Logarithme décimal de la dose

**A** : La pente

A partir de ces équations, on a pu déterminer les DL50 pour imagos de *L. migratoria* pour chaque dose utilisée, sachant que le probit de 50% est égal à 5.

#### II.3.7.2. - Analyse statistique

Pour approuver l'efficacité des différents facteurs étudiés, nous avons fait appel à l'analyse de la variance (ANOVA) à n critères de classification dans le but de tester la significativité statistique des différences entre les facteurs étudiés (**Statsoft, 2010**).

# Chapitre III: Résultats obtenus

Les résultats que nous avons obtenus, lors de notre expérimentation, concerneront l'effet de l'extrait aqueux et de l'huile essentielle du Pommier de Sodome *Calotropis procera* vis-à-vis des imagos du criquet migrateur *Locusta migratoria*.

Pour rappel, l'objectif de notre présent travail est de proposer *C. procera* comme alternative de lutte à l'utilisation des intrants chimiques contre les criquets grégariaptés. Plus spécifiquement, il s'agit d'étudier la toxicité directe par ingestion de l'extrait aqueux et par contact de l'huile essentielle de ladite plante, d'évaluer la DL50 et de déterminer les principales classes de métabolites secondaires contenues dans l'extrait le plus actif chez cette plante.

### III.1. - Screening phytochimique de *Calotropis procera*

Le screening phytochimique a été réalisé sur les feuilles de *C. procera* en vue de mettre en évidence la présence les grands groupes chimiques capable d'intervenir dans la toxicité de la plante, notamment les métabolites secondaires.

Le tableau ci-dessous révèle la présence dans les feuilles de *C. procera* d'alcaloïdes, de flavonoïdes de saponines, de tannins et de stérols et tri terpènes, alors que les quinones et les composés cyanogènes sont absents.

**Tableau 3 :** Résultat de la phytochimie qualitative des feuilles de *Calotropis procera*

	Alcaloïdes	Flavonoïdes	Saponines	Tanins	Stérols triterpènes	Coumarines	Quinones	Composés cyanogènes
Feuilles de <i>Calotropis procera</i>	+	+	+	+	+	+	-	-

### III.2. - Effet de l'extrait aqueux de *C. procera* sur la mortalité des imagos de *L. migratoria*

Le traitement à base de l'extrait aqueux de *Calotropis procera* vis-à-vis des imagos de *Locusta migratoria* ont été conduits au laboratoire et à une température de  $30\pm 2^\circ\text{C}$ , une humidité relative de  $75\pm 3\%$  ainsi qu'une photopériode de 12h (lumière) /12h (obscurité). Le mode de traitement utilisé est celui par ingestion.

En effet, quelques heures après l'ingestion de la laitue pulvérisée par l'extrait aqueux de *C. procera*, nous avons observé une diminution instantanée de la prise de nourriture et de la mobilité des individus traités. Quelques jours après le traitement, nous avons remarqué un affaiblissement des criquets traités, suivie d'une paralysie quasi-totale de leurs corps et une coloration foncée de leurs abdomens, alors qu'aucune de ces observations n'ont été notées chez les individus témoins.

Il est à noter que 48 heures après la mort des individus traité, nous avons observé une coloration bleuâtre de leurs appareils buccaux.

Ainsi, les moyennes des pourcentages de mortalité des imagos de *L. migratoria* traités par l'extrait aqueux de *C. procera* sont consignées dans les tableaux suivant :

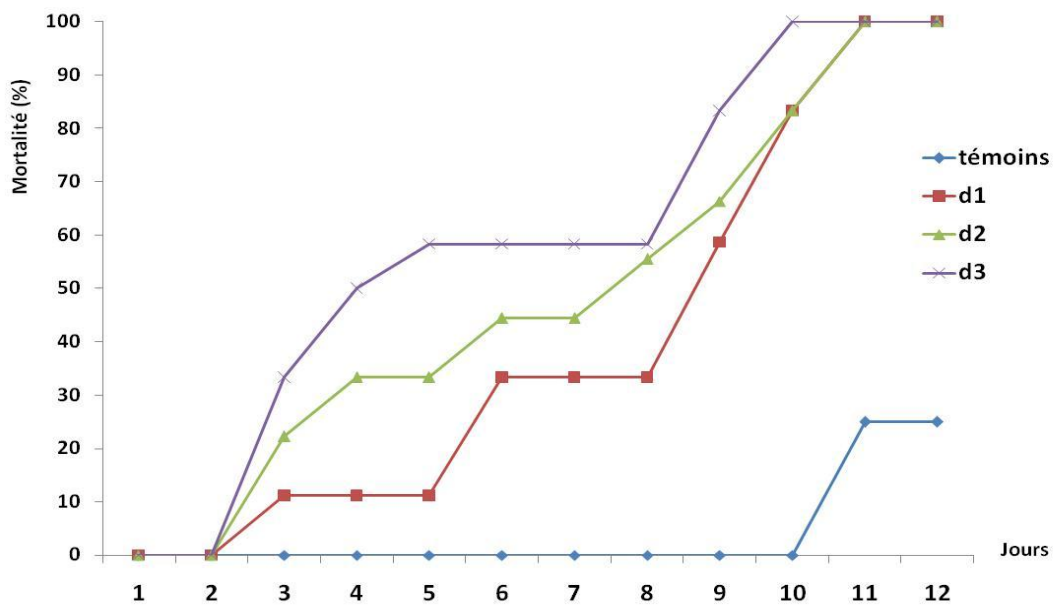
**Tableau 4 :** Pourcentages de mortalité des imagos de *L. migratoria*, témoins et traités par l'extrait aqueux de *C. procera*.

Jours	Témoins	Traités		
		Dose 1 (25%)	Dose 2 (50%)	Dose 3 (100%)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	11,11	22,22	33,33
4	0	11,11	33,33	50
5	0	11,11	33,33	58,33
6	0	33,33	44,44	58,33
7	0	33,33	44,44	58,33
8	0	33,33	55,55	58,33
9	0	58,66	66,33	83,33
10	0	83,33	83,33	100
11	25	100	100	100
12	25	100	100	100

Les données mentionnées dans le tableau ci-dessus montrent que l'extrait aqueux de *C. procera* présente une activité insecticide vis-à-vis les imagos de *L. migratoria*. Le traitement, engendre de ce fait, une mortalité 3 jours après l'ingestion de la laitue pulvérisée par l'extrait aqueux de *C. procera* et ce pour les trois doses.

Un pourcentage de 50 % de mortalité a été enregistré aux 9<sup>ème</sup>, 8<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> jour, respectivement pour les doses D1, D2 et D3 (**figure 11**).

Notons que le début de mortalité pour les lots témoins des imagos a été obtenu à partir du 11<sup>ème</sup> jour d'observation.



**Figure 11:** Pourcentages de mortalités imagos de *Locusta migratoria* témoins et traités par l'extrait aqueux de *Calotropis procera*

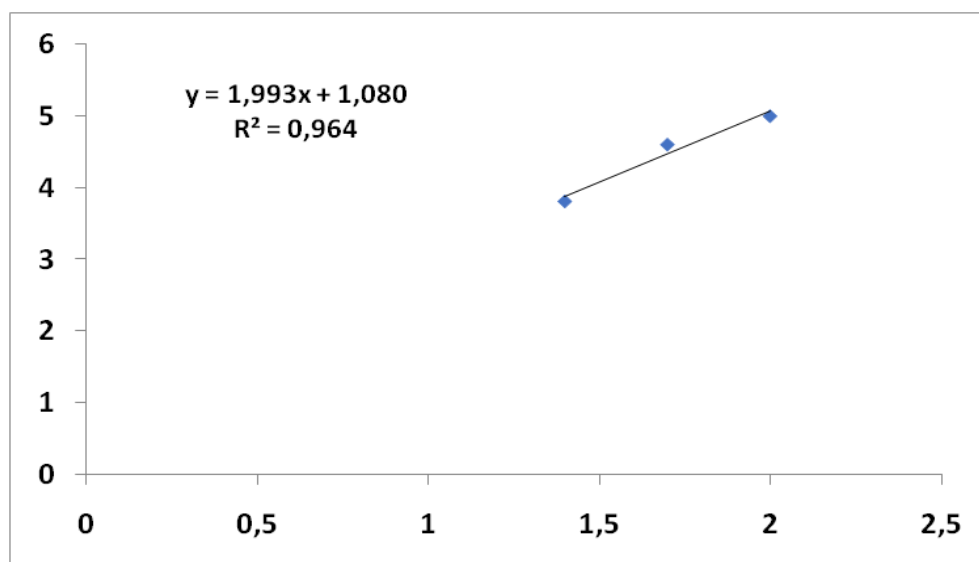
### III.2.1. - Détermination de la DL 50

Pour rappel, afin de calculer la DL 50 au 7<sup>ème</sup> jour après traitement des imagos de *L. migratoria* traités par l'extrait aqueux de *C. procera*, nous avons utilisé la fonction suivante:  $y=ax + b$  (d'où  $y$  : probits et  $x$  : log doses), et pour un pourcentage de mortalité de 50 %  $\rightarrow y = 5$  (dont probit de 50 = 5).

De ce fait et à partir de la droite de régression illustrée dans la **figure 12**, nous avons déterminé la DL50 chez les imagos de *L. migratoria* traités par l'extrait aqueux de *C. procera*. Ainsi, la droite de régression tracée à fait ressortir l'équation suivante :

$$Y = 1,993 X + 1,080 \quad \text{avec un coefficient de corrélation } R^2 = 0,96$$

A partir de cette équation, nous obtenons, après remplacement de  $y$  par 5, une valeur en logarithme décimal  $x = 1,96$ . En utilisant l'exponentielle 10 il ressort une **DL50 = 17,09 %** de la solution mère.



**Figure 12:** Efficacité de l'extrait aqueux de *C. procera* contre les imagos de *L. migratoria*

### II.2.2. - Analyse statistique

L'analyse de la variance à deux critères (facteurs) de classification, soit le temps et la de la plante testée, fait ressortir une action toxique de l'extrait aqueux de *C. procera* contre les imagos de *L. migratoria* traduite par une différence hautement significative entre les pourcentages de mortalité enregistrées pour les différentes doses à différents temps, soit ( $F_{obs.} = 23,21 > F_{théo.} = 12,56$ ). Ainsi le niveau de probabilité ( $p < 0,005$ ) nous indique que cet effet toxique est hautement significatif vis-à-vis la mortalité des individus traités (tableau 6).

**Tableau 6.** Analyse de la variance des mortalités des imagos de *L. migratoria* traités par l'extrait aqueux de *C. procera*

	SCE	DDL	CM	F. obs.	P
<b>VAR1 (temps)</b>	237432,8	24	13241,7	427,74	0,000
<b>VAR2 (traitement)</b>	126538,8	6	23879,8	688,44	0,000
<b>VAR1*VAR2</b>	71833,3	123	561,9	17,50	0,000
<b>VAR résiduelle</b>	4185,4	157	35,2	-	0,000

Le test de comparaison planifiée (LSD), nous a, ainsi, permis d'obtenir trois groupes homogènes, soit le groupe A relatif à dose D1= 25% de la solution mère (S.M.), le groupe B soit la D2= 50% de la S.M. et enfin le groupe C relatif à la dose D3= 100% de la S.M.

**Tableau 7 :** Test LSD sur l'efficacité de l'extrait aqueux de *C. procera* contre les imagos de *L. migratoria*

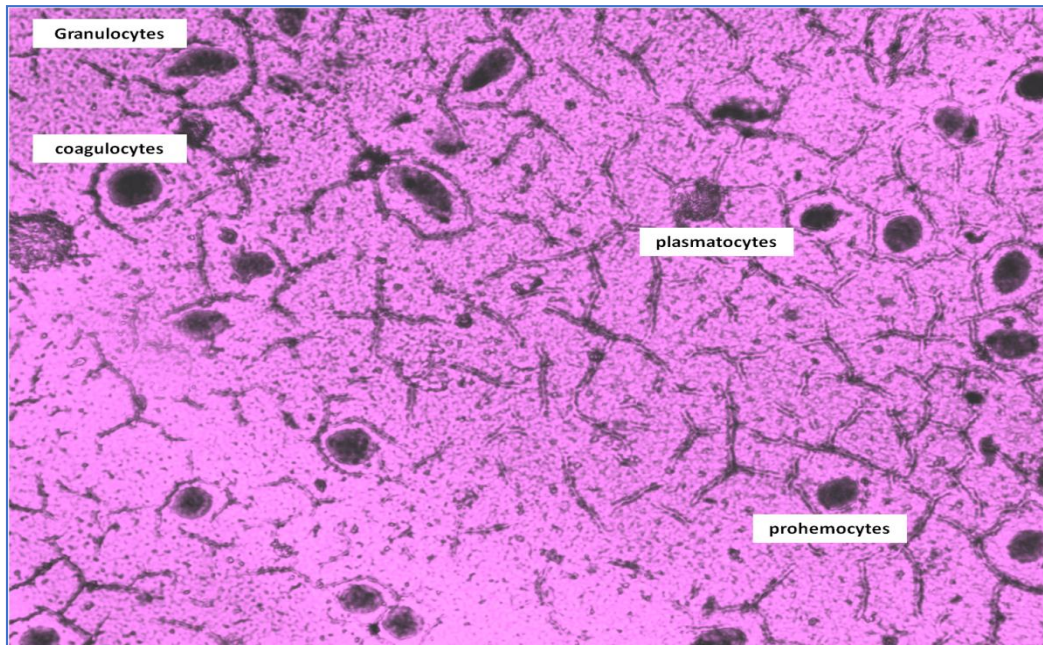
F <sub>1</sub>	Doses	Moyennes	Groupes homogène
3	D <sub>1</sub> = 25%	0,96	A
2	D <sub>2</sub> = 50%	0,85	B
1	D <sub>3</sub> = 100%	0,63	C

### III.3. - Effet de l'extrait aqueux de *C. procera* sur l'hémogramme des imagos de *L. migratoria*

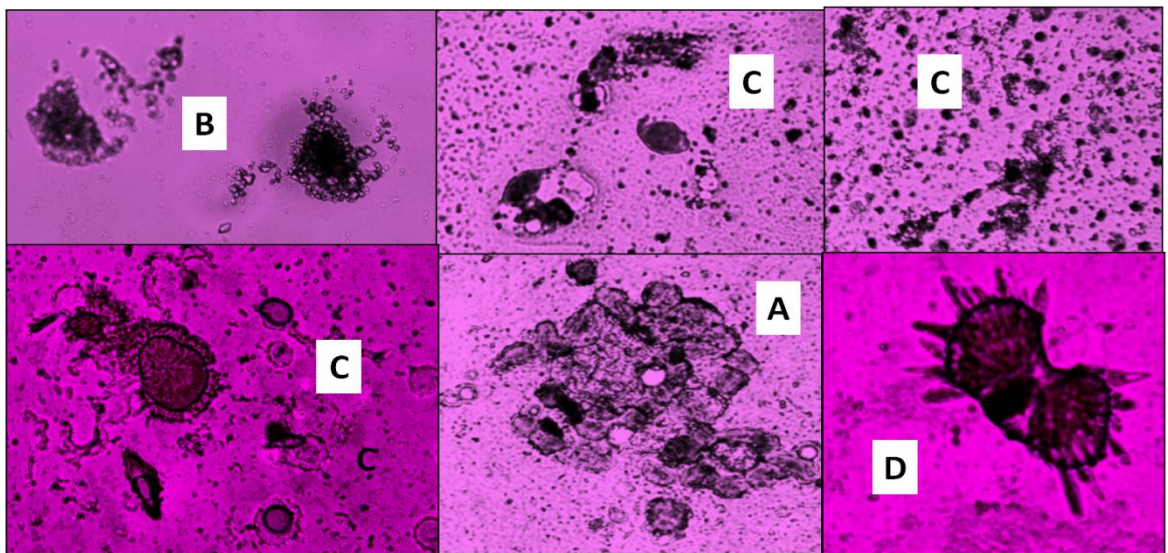
#### III.3.1. - Étude qualitative

L'examen du frottis hémolympatique (réalisé par coloration May Grunwald – Giemsa) ainsi que la détermination des différentes catégories d'hémocytes ont été réalisés en comparant nos observations microscopiques avec les travaux de références des auteurs cités dans le chapitre précédent.

A cet effet, nous sommes parvenus à identifier quatre types de cellules hémocytaires, soit les prohémyocytes, les plasmacytes, les granulocytes et les coagulocytes (**figure 13**). L'observation microscopique réalisée sur le frottis hémolympatique des individus traités de *L. migratoria* traités par *C. procera* (extrait aqueux), révèle d'importantes altérations structurales au niveau des hémocytes totalement absentes chez les individus témoins. Les cellules attaquées par les toxines présentent un aspect rétracté, dense et diffus et ont tendance à se regrouper pour former des amas (A). Comme nous avons observé la libération des granules de sécrétion par les granulocytes (B). Nous avons, également, remarqué que la plupart des hémocytes se sont vidées de leur contenu au fur et à mesure, alors que d'autres cellules hémolympatiques se sont désagrégées ou même éclatées (C), ne laissant que des débris. Certaines hémocytes on émit des extensions filamenteuses de la membrane cytoplasmique ressemblant à des invaginations d'endocytose appelées pseudopodes (D) (**figure 14**).



**Figure 13 :** Les différentes catégories d'hémocytes identifiées dans l'hémolymphe des imagos témoins de *L. migratoria* (**originales**)



**Figure 14 :** Altérations structurales des hémocytes des imagos de *L. migratoria* traités par l'extrait aqueux de *C. procera* (**originales**)

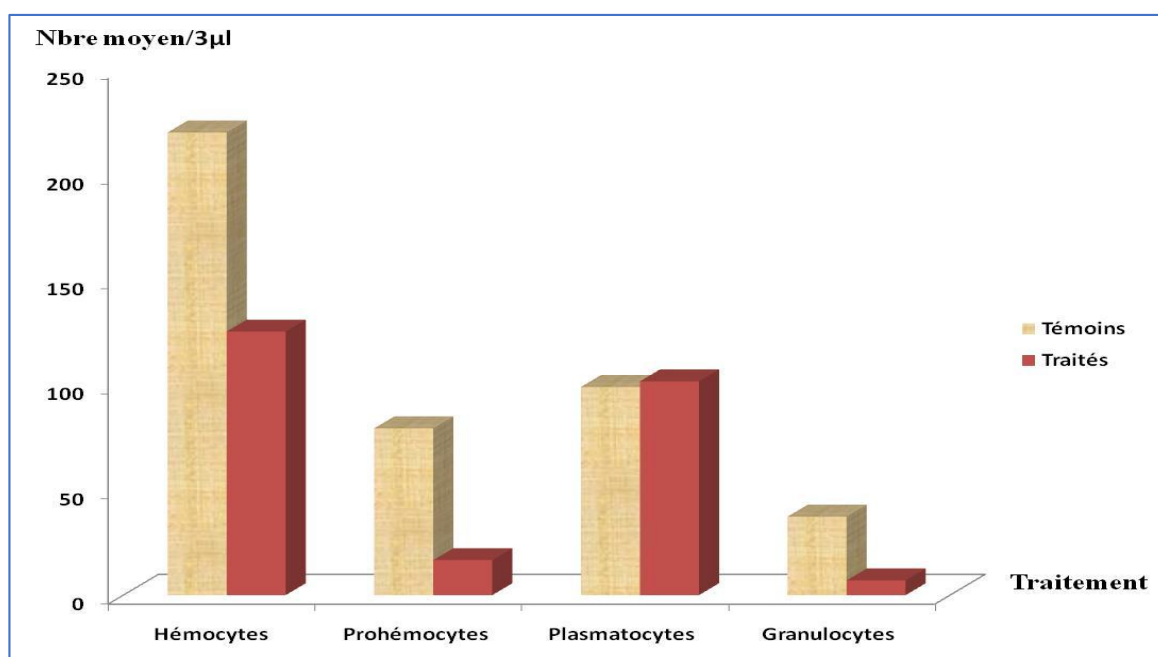
### III.3.2. - Étude quantitative

Cette étude a concerné le calcul du nombre total des hémocytes ainsi que des catégories de cellules identifiées, auparavant, des témoins et traités de *L. migratoria* par l'extrait aqueux de *C. procera*. Les résultats obtenus sont énumérés dans le tableau 8. Ce dernier, fait ressortir une baisse considérable du nombre de prohemocytes, de granulocytes et de coagulocytes, alors que le nombre de plasmatocytes a légèrement augmenté.

**Tableau 8 :** Nombre d'hémocytes, de prohémocytes, de plasmatocytes et de granulocytes des imagos de *L. migratoria* témoins et traités par l'extrait aqueux de *C. procera*

	Témoins		Extrait aqueux de <i>C. procera</i>	
	Nombre moyen	Ecart type	Nombre moyen	Ecart type
<b>Hémocytes</b>	<b>220</b>	35,6791255	<b>125,3333333</b>	26,6333125
<b>Prohémocytes</b>	<b>79,33333333</b>	26,3881286	<b>16,6666667</b>	9,29157324
<b>Plasmatocytes</b>	<b>99</b>	14	<b>101,666667</b>	19,4250697
<b>Granulocytes</b>	<b>37,33333333</b>	16,8027775	<b>7</b>	4,58257569

En effet, l'extrait aqueux de *C. procera* testé contre les imagos de *L. migratoria* a provoqué une perturbation quantitative sur l'hémogramme de cette locuste (**figure 15**).



**Figure 15 :** Nombre d'hémocytes, de prohémocytes, de plasmatocytes et de granulocytes des imagos de *L. migratoria* témoins et traités par l'extrait aqueux de *C. procera*

Ainsi, le nombre total des hémocytes a chuté de 220 hém./3µl enregistrés chez les témoins à 125,33 hém./3µl notés chez les individus adultes de *L. migratoria* traités par *C. procera*. La même chute a été observée chez les prohémocytes, et les granulocytes. Cette baisse est, respectivement, de 79,33 prohém./3 µl à 16,66 prohém./3µl et de 37,33 gran./3µl à 7 gran./3µl. Cependant, le nombre de plasmatocytes a connu une légère augmentation chez les individus traités par rapport aux témoins, soit une augmentation de 99 plasm./3µl chez les témoins à 101,66 plasm./3µl chez les traités.

### III.3.3. - Analyse statistique

L'analyse de la variance à un seul critère de classification représenté par le facteur traitement, nous a révélé qu'il existe un effet significatif du traitement par l'extrait aqueux de *C. procera* sur le nombre total d'hémocytes ainsi que le taux de prohéocytes, de plasmatocytes et de granulocytes ( $F_{obs} > F_{théo}$ ,  $p < 0,005$ ) chez les imagos traités comparativement aux témoins (tableau 9).

**Tableau 9 :** Analyse de la variance de l'hémogramme des imagos de *L. migratoria* traités par l'extrait aqueux de *C. procera*

	SCE	DDL	CM	F. obs.	P
VAR2 (traités)	136542,8	8	21356,3	598,44	0,000
VAR résiduelle	4185,4	157	35,2	-	0,000

### III.4. - Effet de l'huile essentielle de *C. procera* sur la mortalité des imagos de *L. migratoria*

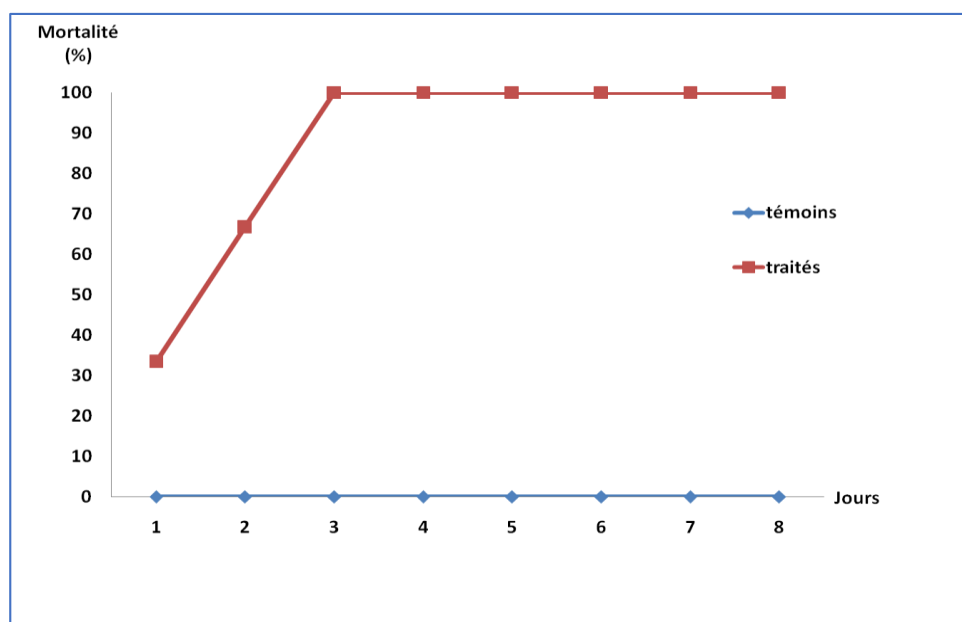
Les individus traités par l'huile essentielle de *Calotropis procera* ont manifesté une excitation des pièces buccales avec des frottements successifs des pattes, voir des tremblements, des troubles de l'équilibre et même des mouvements convulsifs, ce, quelques secondes après leur pulvérisation par ladite huile. Cela témoigne, de ce fait, l'action neurotoxique de l'huile essentielle de *C. procera* à l'égard de *Locusta migratoria*. Dans le tableau 10 sont mentionnées les moyennes de pourcentage de mortalité des imagos de *L. migratoria* traités par l'huile essentielle de *C. procera*.

**Tableau 10:** Moyennes des pourcentages de mortalité des imagos de *L. migratoria* traités par l'huile essentielles de *C. procera*

Jours	Témoins		Traités	
	M. Moy %	ET	M. Moy %	ET
1 <sup>er</sup>	0	0	33,33	14,43
2 <sup>ème</sup>	0	0	66,66	14,43
3 <sup>ème</sup>	0	0	100	0
4 <sup>ème</sup>	0	0	100	0
5 <sup>ème</sup>	0	0	100	0
6 <sup>ème</sup>	0	0	100	0
7 <sup>ème</sup>	0	0	100	0
8 <sup>ème</sup>	0	0	100	0

Il est à noter que la mortalité des premiers individus a été enregistrée après 01mn 52 sec minutes seulement. La mortalité de tous les individus traités a été enregistrée au bout du 3<sup>ème</sup> jour de traitement.

Les résultats mentionnés dans le tableau ci-dessus ainsi que la (**figure 16**) laissent apparaître une toxicité remarquable chez les imagos de *L. migratoria* pulvérisés par l'huile essentielle de *C. procera*. Un début de mortalité avec un pourcentage de 33,33 % a été enregistré à partir du 1<sup>er</sup> jour de traitement, voir même quelques minutes après pulvérisation. Quant à la mortalité totale des individus traités, elle a été enregistrée au bout du 3<sup>ème</sup> jour de traitement. Notons qu'aucune mortalité n'a été observée chez les individus témoins lors des 8 jours d'observation.



**Figure 16:** Pourcentages de mortalité des imagos de *L. migratoria* traités par l'huile essentielle de *C. procera*

#### III.4.1. - Analyse statistique

L'analyse de la variance à deux critères (facteurs) de classification, soit le temps et la plante testée fait ressortir une action hautement toxique de l'huile essentielle de *C. procera* vis-à-vis des imagos de *L. migratoria*. Le niveau de probabilité ( $p < 0,005$ ) reflète ainsi un effet très toxique est hautement significatif vis-à-vis la mortalité des individus traités (tableau 11).

**Tableau 11 :** Analyse de la variance des mortalités des et imagos de *L. migratoria* traités par l'huile essentielle de *C. procera*.

	SCE	DDL	CM	F. obs.	P
<b>VAR1 (temps)</b>	221657,8	26	18564,7	419,25	0,000
<b>VAR2 (traitement)</b>	198465,8	6	26374,8	548,46	0,000
<b>VAR1*VAR2</b>	61563,3	128	451,3	17,20	0,000
<b>VAR résiduelle</b>	4231,4	161	32,2	-	0,000

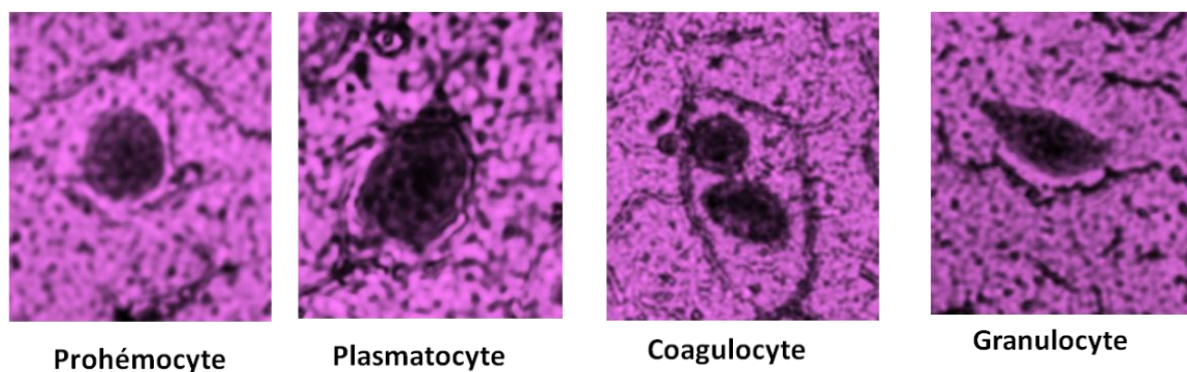
Le test de comparaison planifiée (LSD) nous a permis d'obtenir deux groupes homogènes, soit le groupe A relatif au traitement à base de l'huile essentielle de *C. procera* ainsi que le groupe B qui concerne le lot témoin.

### III.5. - Effet de l'huile essentielle de *C. procera* sur l'hémogramme des imagos de *L. migratoria*

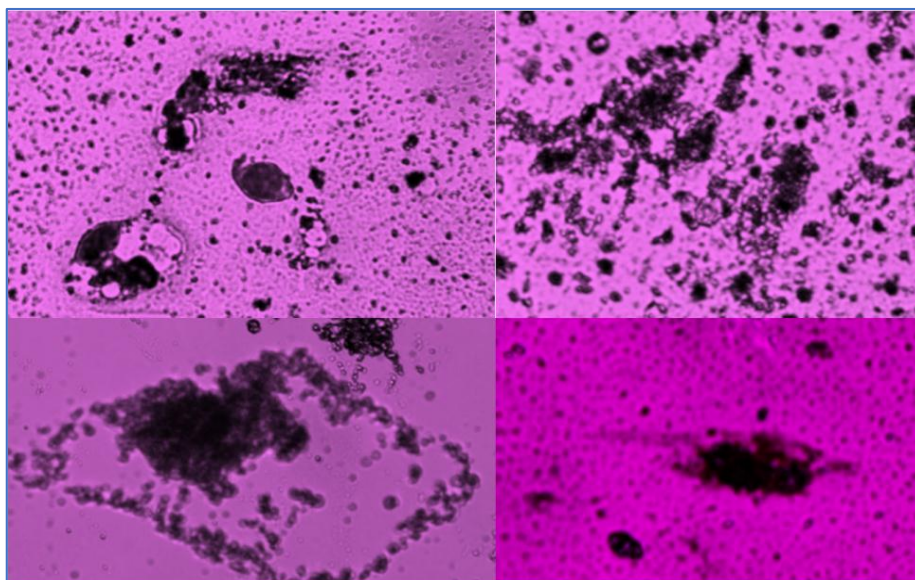
#### III.5.1. - Étude qualitative

Comme nous l'avons cité auparavant et illustré, quatre catégories de cellules hématocytaires ont été identifiées chez les témoins des imagos de *L. migratoria*. Il s'agit des prohématocytes, des plasmotocytes, des granulocytes et des coagulocytes (**figure 17**).

Le traitement des imagos de *L. migratoria* par l'huile essentielle de *C. procera* a induit à une détérioration voire éclatement des hématocytes. Ainsi, les mêmes altérations structurales occasionnées par le traitement à base de l'extrait aqueux de la plante testée, ont été observées, chez ceux traités par l'huile essentielle. Il s'agit de l'aspect rétracté, dense et diffus des hématocytes accompagné du déversement de leurs contenus. Nous avons, également noté une libération des granules de sécrétion par les granulocytes ainsi qu'une importante quantité de débris des hématocytes (**figure 18**).



**Figure 17:** Les catégories d'hématocytes identifiées dans l'hémolymphe des imagos témoins de *Locusta migratoria* (originales)



**Figure 18:** Altération structurales des hémocytes observées chez les imagos de *L. migratoria* pulvérisés par l'huile essentielles de *C. procera* (**originales**).

### III.5.2. - Étude quantitative

Afin de voir l'aspect quantitatif de l'effet toxique de l'huile essentielle de *C. procera*, nous avons compté le nombre total d'hémocytes observées. Nous avons aussi calculé les nombres de chaque catégorie de cellules identifiées et cela dans 3 $\mu$ l d'hémolymphe prélevée quelques minutes après traitement à partir des imagos de *L. migratoria* témoins et traités. Ainsi, dans le tableau 12 sont énumérées les données relatives aux calculs des hémocytes pour les témoins et les traités.

**Tableau 12 :** Nombre d'hémocytes, de prohémocytes, de plasmatocytes et de granulocytes des imagos de *L. migratoria* témoins et traités par l'huile essentielle de *C. procera*

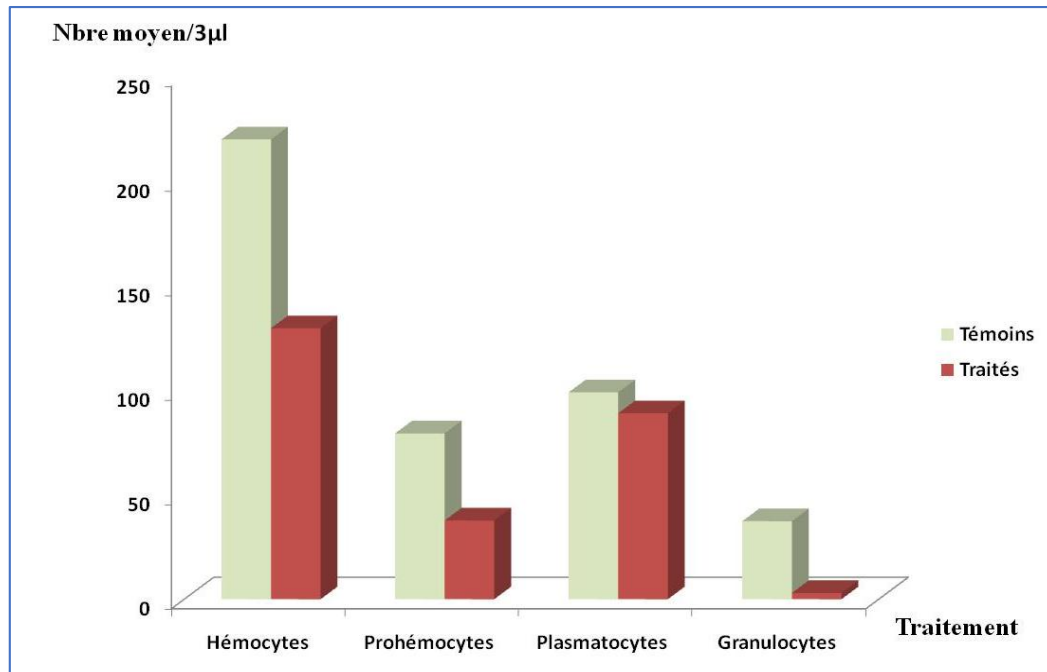
	Témoins		Huile essentielle de <i>C. procera</i>	
	Nombre moyen	ET	Nombre moyen	ET
<b>Hémocytes</b>	<b>220</b>	35,6791255	<b>129,666667</b>	<b>12,858201</b>
<b>Prohémocytes</b>	<b>79,3333333</b>	26,3881286	<b>37,6666667</b>	<b>6,65832812</b>
<b>Plasmatocytes</b>	<b>99</b>	14	<b>89</b>	<b>21</b>
<b>Granulocytes</b>	<b>37,3333333</b>	16,8027775	<b>3</b>	<b>2</b>

En effet, dans le frottis hémolympatique des imagos de *L. migratoria* pulvérisés par l'huile essentielle de *C. procera*, nous avons noté une baisse considérable du nombre moyen d'hémocytes par rapport aux témoins, ce même si le prélèvement de l'hémolymphe des criquets a

été fait quelques minutes après la pulvérisation (**figure 19**). En effet, le nombre moyen d'hémocytes était de 220 hém/3 $\mu$ l ont été réduits à 129,66 hém/3 $\mu$ l.

Quant aux trois catégories d'hémocytes, leur aspect quantitatif a également été perturbé par la pulvérisation de l'huile essentielle de *C. procera*.

Ainsi, une réduction remarquable a été observée chez les prohéocytes, les plasmatoctes et les granulocytes, soient respectivement de 79,33 à 37,66 proh. /3 $\mu$ l, 99 à 89 plasmato. /3 $\mu$ l. et 37,33 à 3 gran. /3 $\mu$ l.



**Figure 19** : Nombre d'hémocytes, de prohéocytes, de plasmatoctes et de granulocytes des imagos de *L. migratoria* témoins et traités par l'huile essentielle de *C. procera*

### III.5.3. - Analyse statistique

L'analyse de la variance à un seul critère de classification représenté par le facteur traitement, nous a révélé qu'il existe un effet significatif du traitement par l'huile essentielle de *C. procera* sur le nombre total d'hémocytes ainsi que le taux de prohéocytes, de plasmatoctes et de granulocytes ( $F_{obs} > F_{théo}$ ,  $p < 0,005$ ) chez les imagos traités comparativement aux témoins .



# Chapitre IV: Discussions

### IV.1. - Screening phytochimique de *Calotropis procera*

Notre thème de recherche portant sur l'étude de l'activité insecticide de l'extrait aqueux et huileux des feuilles de *Calotropis procera*, a consisté en premier lieu, en la recherche des composés chimiques présumés actifs présents dans les produits biocides de la plante.

Ainsi, les feuilles de *C. procera* soumises à un test phytochimique a mis en évidence des alcaloïdes, des flavonoïdes, des saponines, des tannins, des coumarines et des stérols et triterpènes, alors que les quinones et les composés cyanogènes y sont absents.

La présence de ces métabolites secondaires pourrait expliquer ultérieurement les activités insecticides de ladite plante.

Plusieurs études antérieures récentes sont confirmées par notre résultat. Parmi ces études, nous citons celles de **Wadhvani et al., (2021)** qui mentionnent que toutes les parties de *C. procera* sont toxiques, notamment les feuilles qui contiennent trois glycosides toxiques : la calotropine, la calotoxine et l'uscharine. Les mêmes auteurs notent, également, que ces glycosides toxiques augmentent le phénomène de défense en cas d'attaque de sauterelles ou d'insectes.

Nos résultats vont dans le même sens que ceux d'**Al-Yahia (1986) et Thiaw (2008)** qui rapportent que toutes les parties de *C. procera* contiendraient des cardénolides, des alcaloïdes, des saponines, des stérols et triterpènes, des coumarines, des tanins et des flavonoïdes des anthracènes.

Ils sont également, en concordance avec ceux obtenus par **Nikiéma (2005)** ainsi que ceux rapportés par **Doughari et al., (2007)**, **Guissou et al., (2008)** et **Mbako et al., (2009)** cités par **Kabre et al., (2013)**. En effet, ces auteurs ont en effet mis en évidence la présence, de flavonoïdes, de tannins, d'hétérosides triterpéniques, d'hétérosides cardiotoniques et de saponines. Ils ont également trouvé des alcaloïdes, des phénols, des glycosides cardiaques ainsi que des caroténoïdes dans les différentes parties de *C. procera*.

### IV.2. - Activité toxique des feuilles de *Calotropis procera* vis-à-vis des imagos de *Locusta migratoria*

#### IV.2.1. - Effet sur la mortalité

Nos résultats ont révélé une toxicité considérable de l'extrait aqueux de *Calotropis procera* à l'égard des imagos de *Locusta migratoria*. En effet, le traitement, a engendré un début de mortalité, seulement, 03 jours après l'ingestion de la laitue pulvérisée par l'extrait aqueux de *C. procera* et ce pour les trois doses. Aussi, les 50 % de mortalité ont été enregistrés aux 9<sup>ème</sup>, 8<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> jour, respectivement pour les doses D1, D2 et D3. Pour ce qui est de la mortalité totale des individus traités, elle a été enregistrée entre le 10<sup>ème</sup> et le 11<sup>ème</sup> jour de traitement. Suite à l'ingestion de la laitue pulvérisée par l'extrait aqueux de *C. procera* par les imagos de *L.*

*migratoria*.

Dans notre expérimentation, nous avons, également, pulvérisé les imagos de *L. migratoria* par l'huile essentielle de *C. procera*. Ce qui a induit la mortalité des premiers individus, après seulement 01 mn 52 sec minutes. La mortalité de tous les individus traités a été enregistrée au bout du 3<sup>ème</sup> jour de traitement. Ce qui témoigne et laisse apparaître une toxicité remarquable chez les imagos de *L. migratoria* pulvérisés par l'huile essentielle de *C. procera*. En effet, un début de mortalité avec un pourcentage de 33,33 % a été enregistré à partir du 1<sup>er</sup> jour de traitement, voir même quelques minutes après pulvérisation. Quant à la mortalité totale des individus traités, elle a été enregistrée au bout du 3<sup>ème</sup> jour de traitement. Notons qu'aucune mortalité n'a été observée chez les individus témoins lors des 8 jours d'observation.

Il est à rappeler que quelques heures après l'ingestion de la laitue pulvérisée par l'extrait aqueux de *C. procera*, nous avons observé une diminution instantanée de la prise de nourriture et de la mobilité des individus traités. Quelques jours après le traitement, nous avons remarqué un affaiblissement des criquets traités, suivie d'une paralysie quasi-totale de leurs corps et une coloration foncée de leurs abdomens, alors qu'aucune de ces observations n'ont été notées chez les individus témoins.

Aussi, la pulvérisation de l'huile essentielle de *C. procera* a manifesté, chez les individus concernés, une excitation des pièces buccales avec des frottements successifs des pattes, voir des tremblements, des troubles de l'équilibre et même des mouvements convulsifs, ce, quelques secondes après leur pulvérisation par ladite huile. Cela témoigne, de ce fait, l'action neurotoxique de l'huile essentielle de *C. procera* à l'égard de *Locusta migratoria*.

En effet, **Copping (2001)** avait mentionné que les alcaloïdes contenus de la plante développent une activité neurotoxique en ralentissant la fermeture des canaux Na<sup>+</sup> dépendant (comme le pyrèthre) et perturbent la dépolarisation membranaire, provoquant ainsi une paralysie avant la mort.

Ainsi, nos résultats rejoignent ceux obtenus par de nombreux auteurs ayant testés l'activité insecticide de *C. procera*.

**Abdalla et al., (2009)** avaient mis en évidence l'action toxique de *Calotropis procera* sur la mue de *Locusta migratoria*. **Abassi et al., (2004)** ont enregistré un taux de mortalité de 100% chez les larves, au bout de 15 jours à partir du début du traitement par *C. procera*. Ces mêmes auteurs ajoutent, également, que l'extrait d'alcaloïdes des feuilles jeunes de ladite plante s'est révélé anti-appétant, toxique et anti-fertilisant pour *S. gregaria*.

De leur côté, **Kaidi et al., (2017)**, avaient noté que le traitement à base de l'extrait acétonique des feuilles de *Calotropis procera*, des imagos de *Schistocerca gregaria* et *Locusta*

*migratoria*, se sont révélés très convainquants du fait de la rapidité et de l'efficacité de leur action, suite à des perturbations comportementales et aux premières mortalités enregistré seulement et respectivement 3 heures et 24h après traitement. Les mêmes auteurs, avaient, également, observé chez les imagos de *L. migratoria*, ayant ingéré de la laitue et de l'herbe imbibées d'extrait d'acétone de *C. procera*, une diminution instantanée de la prise alimentaire et de la mobilité accompagnée de forts tremblements des pattes et d'une paralysie presque totale de l'insecte après seulement 3 heures de traitement.

Quant à **Soltan et al., (2020)**, ils ont mentionné que l'application topique du latex de *C. procera* sur les individus de *Locusta migratoria* a été très significative, en raison de l'activité insecticide engendrant des taux de mortalité importants.

En effet, il semble que l'extrait aqueux foliaire de *C. procera* semble avoir un effet très hautement significatif sur la prise de nourriture des individus adultes de *L. migratoria*. Le choix d'une plante pour un insecte comme aliment, dépend des quantités relatives d'agents stimulant ou inhibant l'absorption de nourriture présente dans la plante, d'après **Descoins (1979)** cité par **Kemassi et al., (2012)**. Ce dernier rajoute que, généralement, les criquets explorent la surface de la feuille avec leurs palpes avant de mordre. Le rejet du végétal s'effectue habituellement après la morsure.

Toutefois, chez *Locusta migratoria* et *Schistocerca gregaria*, il peut y avoir un rejet inhabituel de la plante juste après l'étape de palpation et sans morsure. Ce comportement résulte d'une sorte d'apprentissage de l'insecte associant, les stimuli enregistrés par leurs palpes avec le rejet qui suit les premières morsures (**Legall, 1989**).

Selon **Mamadou et al., (2009)**, *C. procera* entraîne une baisse de la prise de nourriture, une baisse du poids ainsi qu'une perte en eau chez les larves et les imagos de *Schistocerca gregaria*.

S'agissant de l'utilisation des huiles essentielles des plantes contre les acridiens grégaires, nous pouvons citer les travaux **Kemassi et al., (2011)** qui rapportent que, la toxicité par contact des huiles essentielles de *Cymbopogon schoenanthus* L. (Poaceae) récoltée dans la région d'Illizi, a provoqué chez les larves L5 de *S. gregaria*, une mortalité de 100 % au bout de 35 mn 11 sec, alors que chez les adultes, la mortalité de 100 % est atteinte au bout de 63 mn 19 sec.

De même, les mêmes auteurs indiquent que les larves de *S. gregaria* nourries avec les feuilles de *Nerium oleander* (Apocynaceae), ont révélé des troubles de prise de nourriture et de la mue.

Une autre étude réalisée par **Kemassi et al., (2014)** et qui porte sur l'activité biologique des huiles essentielles de *Peganum harmala* L. et de *Cleome arabica* L. sur *Schistocerca gregaria*,

ont révélé que les individus traités de cet acridien ont présenté troubles de l'équilibre, des mouvements convulsifs, défécation intense, perte de la capacité de se percher à un support, tremblements d'appendices et accroissement de rythme respiratoire. Ces symptômes témoignent de l'effet neurotoxique de ses extraits végétaux sur ces acridiens.

En sus, les mêmes auteurs ont enregistré une mortalité à partir de 3 min chez les larves L5 de *S. gregaria* traités par l'huile essentielle de *Peganum harmala* et qui atteinte une mortalité 100% au bout de 8mn 30sec. Alors que la mortalité a été observée après 5mn 50sec, suite au traitement des larves L5 *S. gregaria* par l'huile essentielle de *Cleome arabica* et une mortalité de 100 % au bout de 12mn 10sec.

De leur côté, **Hamadi et al., (2021)** avaient mis en évidence l'effet acridicide très poussé de l'huile essentielle d'*Origanum glandulosum* sur les adultes de *Schistocerca gregaria*. En effet, les individus traités par cette substance ont manifesté des troubles de mouvements et de l'excitation des pièces buccales et des pattes antérieures qui sont frottées continuellement. La mortalité de tous les individus traités est obtenue au bout de deux jours

De plus, l'effet insecticide de *C. procera* a été démontré par d'autres travaux de recherche réalisés contre d'autres insectes. Il s'agit de ceux effectués par Thiaw et Sembene en 2010 qui notent qu'en traitant les œufs de la bruche *Caryedon serratus* avec des extraits de *Calotropis procera*, les rescapés voient le sex-ratio de leur progéniture subir un déséquilibre.

D'autres travaux ont mis en évidence l'effet toxique de différentes plantes contre *L. migratoria* ainsi que *S. gregaria*. Nous citons ceux de **Bezaze (2011)** qui avait démontré l'efficacité du laurier rose sur les imagos de *Locusta migratoria* avec une mortalité enregistrée est de l'ordre de 100% dès le 1<sup>er</sup> jour de traitement. Aussi, **Acheuk et al., (2014)** indique que l'extrait éthanolique brut de *Solenostamma argel* provoque 100 % de mortalité avec la dose 3000 µg/L5, 24 h après traitement des larves de *L. migratoria*, alors que les doses faibles entraînent des mortalités tardives et des perturbations de mue.

D'autres études ont concerné l'effet toxique de différentes plantes sur l'acridien *S. gregaria*. Nous citons ceux de **Kemassi (2008)** qui a mentionné que les extraits de feuilles de *Citrullus colocynthis* et *Cleome arabica* provoquent une perte de poids remarquable chez les L5 de *S. gregaria*. Les huiles essentielles de ces deux plantes provoquent également la mortalité de cet acridien, soit une mortalité de 50% enregistrée 18,88 jours après traitement des L5 par *C. colocynthis* et 45,86 jours après le traitement à base de *C. arabica*.

Pour leur part, **Kemassi et al., (2012)** ont enregistré un taux de mortalité de 16,66% est enregistré chez les L5 de *S. gregaria* avec un TL50 de 24,80 jours et de 45,86 jours pour les adultes. **Kemassi et al., (2013)**, notent que l'huile essentielle brutes foliaires *Cleome arabica* sur les larves

du cinquième stade (L5) et les imagos du criquet pèlerin, révèle une toxicité remarquable.

## IV.2.2. - Effet sur l'hémolymphe

### IV.2.2.1. - Étude qualitative

Selon **Oslon et al., (2000)**, les indices hématologiques chez les animaux (vertébrés ou invertébrés) sont importants pour déterminer le risque de toxicité puisque des changements dans le système sanguin ont une valeur prédictive supérieure pour la toxicité humaine.

En effet, la toxicité hématologique se traduit par une augmentation ou une diminution du nombre de cellules sanguines périphériques d'une ou plusieurs lignées cellulaires (**Geraud, 2007**). **Eisenbrand et al., 2002**, ajoutent que la cytotoxicité est considérée essentiellement comme étant la capacité d'un composé à induire la mort cellulaire.

C'est dans cette optique que nous avons essayé de voir l'impact du traitement sur l'hémolymphe des individus imagos de *L. migratoria* traités par et l'extrait aqueux et l'huile essentielle de *C. procera*.

En effet, après réalisation du frottis hémolympatique des individus témoins imagos de *L. migratoria*, nous avons pu identifier quatre types de cellules hémocytaires. Il s'agit des prohémoctes, des plasmatocytes ou phagocytes, des coagulocytes et enfin des granulocytes.

Du point de vue qualitatif, chez les insectes, les catégories d'hémocytes varient d'une espèce à une autre. En **1938**, **Lepesme** avait distingué chez les adultes de *S. gregaria* deux catégories hémocytaires (proleucocytes et phagocytes), alors que l'examen du frottis hémolympatique de *L. migratoria*, *Anacridium aegyptium* et *Pamphagus elephas*, montrait une profonde similitude avec le criquet pèlerin. Quelques années après, en **1969**, **Harpaz et al.**, ont signalé chez *Spodoptera littoralis*, quatre catégories d'hémocytes (**Habes et Soltani, 1992**). Ces derniers, ont pu identifier, pour leur part, cinq types hémocytaires dans l'hémogramme de *Thaumetopea pityocampa*, soient les prohémoctes, les plasmatocytes, les granulocytes, les coagulocytes et les adipocytes).

Selon **Raccaud-Shoeller (1980)**, le sang des orthoptères renferme quatre catégories d'hémocytes rencontrées chez d'autres ordres d'insectes à savoir : les prohémoctes, les plasmatocytes, les granulocytes et les coagulocytes. Alors que selon **Klowden (2013)** a mis en évidence la présence de sept catégories d'hémocytes chez les insectes, soient les prohémoctes, les plasmatocytes, les granulocytes, les oenocytoides, les coagulocytes, les adipohémocytes et les cellules à sphérules.

**Kaidi et al., (2017) et Kaidi (2018)**, ont pu identifier chez les imagos de *L. migratoria* et de *S. gregaria* quatre types d'hémocytes à savoir les prohémoctes, les plasmatocytes, les

coagulocytes et enfin des granulocytes.

Pour notre part, nous avons remarqué un effet important et significatif sur l'hémolymphe des individus de *L. migratoria* traités par l'extrait aqueux et l'huile essentielle de *C. procera*. Un traitement qui se caractérise par des changements dans la morphologie des cellules et par l'apparition d'importantes altérations structurelles.

En effet, l'observation microscopique réalisée sur le frottis hémolympatique des individus traités a fait ressortir l'attaque des toxines de *C. procera* contre les cellules caractérisées par un aspect rétracté, dense et diffus et ont tendance à se regrouper pour former des amas. Nous avons également observé la libération des granules de sécrétion par les granulocytes, accompagnée par une désagrégation presque totale des cellules hémolympatiques dont la plupart se sont vidées de leur contenu cellulaire, ne laissant que des débris. Aussi, certaines hémocytes ont émis des extensions filamenteuses de la membrane cytoplasmique ressemblant à des invaginations d'endocytose appelées pseudopodes.

Selon, **Lavine et Strand (2002)**, le système immunitaire inné des insectes est divisé en réponses de défense humorale et cellulaire. Les défenses humorales comprennent les peptides antimicrobiens, les cascades qui régulent la coagulation et la mélanisation de l'hémolymphe, et la production d'intermédiaires réactifs de l'oxygène et de l'azote. Les défenses cellulaires font référence aux réponses médiées par les hémocytes, comme la phagocytose et l'encapsulation. Les mêmes auteurs, ajoutent que les hémocytes d'insectes reconnaissent une variété de cibles étrangères ainsi que des altérations du soi.

De ce fait, nos résultats corroborent ceux d'autres auteurs qui ont déjà rapportés l'effet cytotoxique d'extraits de différentes parties de *C. procera* sur des lignées cellulaires, nous citons ceux de **Lahoues et al., (2006)**, qui notent que **Mc Namara (1976)** indique que certains stéroïdes notamment les triterpènes tétra cycliques présents dans la plante *C. procera* sont doués de propriétés nécrosantes et cytotoxiques chez les rongeurs. De même pour **Upadhyay (2014)** qui a également mis en évidence l'activité cytotoxique de *C. procera* contre sur les larves d'*Anopheles stefensi*, *Culex quinquefasciatus*, *Aedes aegypti* et *Musca domestica*, traitées par une très faible application topique de latex de ladite plante.

**Kaidi et al., (2017)** indiquent, pour leur part, que l'extrait acétonique de *C. procera* pulvérisé sur l'alimentation de *S. gregaria* et *Locusta migratoria* a engendré de remarquables lésions des hémocytes. De même pour **Kaidi (2018)** qui a enregistré de similaires altérations structurelles des différentes catégories d'hémocytes du criquet pèlerin traité par l'extrait acétonique de *C. procera* ainsi que d'autres plantes du Hoggar.

Plus récemment, **Soltan et al., (2020)**, ont mentionné que les traitements au latex de *C. procera*

contre *L. migratoria* ont été très convaincants en raison de l'efficacité sur les teneurs en hémolymphe des L5 traités, soit un effet significatif sur le contenu de l'hémolymphe, des glucides totaux, des lipides totaux, des protéines totales et du cholestérol.

#### IV.2.2.1. - Étude quantitative

De point de vue quantitatif nous avons remarqué, pour les deux traitements réalisés, une diminution du nombre d'hémocytes chez les individus de *L. migratoria* traités.

Ainsi, le nombre total des hémocytes a chuté de 220 hém./3 $\mu$ l enregistrés chez les témoins à 125,33 hém./3 $\mu$ l notés chez les individus adultes de *L. migratoria* traités par *C. procera*. La même chute a été observée chez les prohéocytes, et les granulocytes. Cette baisse est, respectivement, de 79,33 prohém./3 $\mu$ l à 16,66 prohém./3 $\mu$ l et de 37,33 gran./3 $\mu$ l à 7 gran./3 $\mu$ l.

Cependant, le nombre de plasmocytes a connu une légère augmentation chez les individus traités par rapport aux témoins, soit une augmentation de 99 plasm./3 $\mu$ l chez les témoins à 101,66 plasm./3 $\mu$ l chez les traités.

De même pour le traitement à base de l'huile essentielle de *C. procera* contre les imagos de *L. migratoria* où nous avons noté la même chute numérique du nombre des hémocytes, quelques minutes après la pulvérisation du produit. En effet, le nombre moyen d'hémocytes était de 220 hém./3 $\mu$ l ont été réduits à 129,66 hém./3 $\mu$ l, comme nous avons observé une baisse remarquable a été observée chez les prohéocytes, les plasmocytes et les granulocytes, soient respectivement de 79,33 à 37,66 proh. /3 $\mu$ l, 99 à 89 plasmato. /3 $\mu$ l. et 37,33 à 3 gran. /3 $\mu$ l.

**Moussa (2003)** a également constaté la chute de nombre d'hémocytes de l'hémolymphe chez *Locusta migratoria* traité par l'huile de Neem.

Cette diminution remarquable peut s'expliquer par leur intervention dans le processus de défense immunitaire ainsi qu'à l'épuisement de ces cellules suite à la phagocytose des toxines de *C. procera*. De ce fait, la toxine de ladite plante a, certainement, échappé à la barrière phagocytaire du système immunitaire des individus traités, en provoquant 24 heures après le traitement une lyse presque totale des cellules.

L'introduction des particules étrangères telles que les microorganismes ou autre peut perturber l'hémogramme des insectes (**Chauvin, 1956 et Arnold, 1974**). D'après **Paillot (1933)** cette perturbation peut se traduire soit par l'augmentation du nombre de cellules soit par sa diminution.

Nos résultats, corroborent avec ceux obtenus par **Kaidi et al., (2017)** qui ont enregistré la même chute numérique des hémocytes chez les imagos de *L. migratoria* traités par l'extrait acétonique de *C. procera*. **Kaidi (2018)** avait, également enregistré cette chute remarquable du nombre des hémocytes avec une augmentation considérable des plasmocytes des imagos de *S. gregaria* traités et par les champignons entomopathogènes *Metarhizium anisopliae* var *acridum* et

*Beauveria bassiana* ainsi que par six plantes du désert, soient, *Calotropis procera*, *Citrullus colocynthis*, *Cleome arabica*, *Solenostemma argel*, *Aerva javanica* et *Salvadora persica*.

**Rosales (2017)**, dans une étude descriptive des cellules cristallines, des plasmatocytes, et des lamellocytes chez *Drosophila melanogaster*, indique que l'infection bactérienne provoque une réduction considérable du nombre des différents types d'hémocytes mis à part les plasmatocytes qui augmentent engageant une réponse immunitaire immédiate.



**Conclusion**

Le problème acridien demeure un sujet d'actualité et brûlant pour les services nationaux de protection des végétaux affrontés aux invasions acridiennes, ce, malgré les efforts considérables déployés pour contrôler la situation.

En effet, les opérations de contrôle des recrudescences et des invasions nécessitent toujours cependant des moyens énormes et impliquent de grandes quantités d'insecticides, qui sont très coûteuses et présentent des risques environnementaux importants. Ainsi, l'utilisation croissante des pesticides chimiques présente des risques pour la santé humaine et l'environnement. C'est pourquoi, ces dernières années, l'orientation du concept de lutte biologique est devenue un sujet de tendance mondiale, dans le but de protéger l'écosystème et la santé humaine, notamment par le recours aux moyens biologiques, telles que les substances secondaires provenant de plantes toxiques. Ces dernières sont très répandues en Algérie, plus précisément dans le Sahara algérien.

De ce fait, notre présent travail concerne des bio-essais destinés à étudier l'effet toxique de l'extrait aqueux et de l'huile essentielle des feuilles du Pommier de Sodome *Calotropis procera* (espèce très présente dans le Sahara algérien) sur la mortalité et l'hémolymphe des imagos du criquet migrateur *Locusta migratoria* (un des principaux acridiens grégaires présent dans le Sud algérien).

C'est pour cela que nous avons, tout d'abord, mis en évidence les différents métabolites secondaires présents dans les feuilles de la plante, par un screening phytochimique. Ce dernier, a fait ressortir la présence d'alcaloïdes, de flavonoïdes, de saponines, de tannins, de coumarines et de stéroïdes et triterpènes dans la partie étudiée de la plante. Ce criblage nous a, ainsi, permis de mieux comprendre et expliquer les activités insecticides de ladite plante.

En effet, les bio-essais que nous avons réalisés ont révélé une toxicité considérable de l'extrait aqueux de *Calotropis procera* à l'égard des imagos de *Locusta migratoria*, avec un début de mortalité, enregistré en seulement, 03 jours après l'ingestion de la laitue imbibée par le produit en question et ce, pour les trois doses. Tandis que les 50 % de mortalité ont été enregistrés aux 9<sup>ème</sup>, 8<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> jour, respectivement pour les doses D1, D2 et D3, alors que la mortalité totale a été enregistrée entre le 10<sup>ème</sup> et le 11<sup>ème</sup> jour de traitement.

S'agissant de l'huile essentielle de *C. procera*, l'essai relatif à la pulvérisation de ladite huile des imagos de *L. migratoria* a induit la mortalité des premiers individus, après seulement 01mn 52 sec. La mortalité de tous les individus traités a été enregistrée au bout du 3<sup>ème</sup> jour de traitement. Ce qui témoigne et laisse apparaître une toxicité remarquable par l'huile essentielle de *C. procera*. Ainsi, nous pouvons conclure que l'extrait huileux est plus toxique que l'extrait aqueux.

Aussi, le pouvoir toxique de ces extraits a provoqué une diminution instantanée de la prise de nourriture et de la mobilité, accompagnée d'un affaiblissement des criquets traités suivis d'une excitation des pièces buccales avec des frottements successifs des pattes, voir des tremblements, des

troubles de l'équilibre et même des mouvements convulsifs et enfin une paralysie quasi-totale de leurs corps et mort. En effet, les alcaloïdes et les flavonoïdes présents dans les feuilles de *C. procera* sont responsables de cette activité neurotoxique qui ralentit la fermeture des canaux Na<sup>+</sup> dépendant (comme le pyrèthre) et perturbent la dépolarisation membranaire, provoquant ainsi une paralysie avant la mort.

En sus, nous avons également, essayé de voir l'effet des extraits (aqueux et huileux) de *C. procera* sur l'hémolymphe du criquet migrateur où nous avons observé une toxicité hématologique qui se traduit l'apparition de cellules hémocytaires caractérisées par un aspect rétracté, dense et diffus ayant tendance à se regrouper pour former des amas. Nous avons également observé la libération des granules de sécrétion par les granulocytes, accompagnée par une désagrégation presque totale des cellules hémolymphatique dont la plupart se sont vidées de leur contenu cellulaire, ne laissant que des débris. Aussi, certaines hémocytes ont émis des extensions filamenteuses de la membrane cytoplasmique ressemblant à des invaginations d'endocytose appelées pseudopodes.

De point de vue quantitatif les deux extraits utilisés ont engendré une chute numérique des hémocytes (prohémocytes et granulocytes) et une légère augmentation des plasmatocytes.

Au terme de ce travail nous pouvons conclure l'efficacité et la rapidité d'action de *Calotropis procera* vis-à-vis de *Locusta migratoria* et que cette locuste est plus sensible à l'action de l'extrait huileux par rapport à l'action de l'extrait aqueux de cette plante.

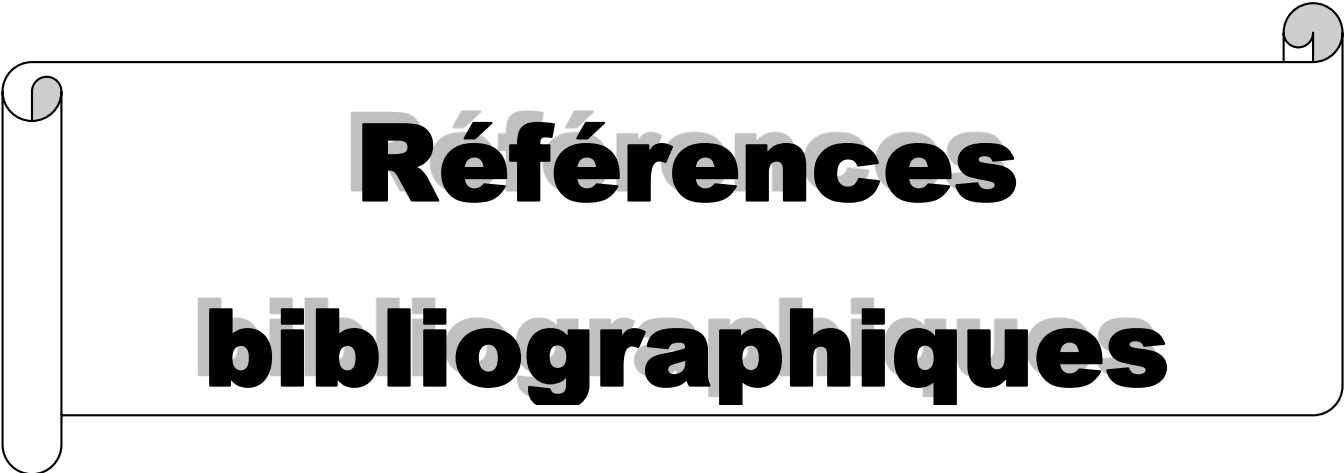
Une raison pour laquelle il s'avère nécessaire d'approfondir nos recherches scientifiques sur le mode d'action des molécules actives des plantes acridicides afin de réaliser des tests de doses minimales admissibles pour pouvoir tester leurs efficacités en plein champ.

Mais avant tout, il est nécessaire d'effectuer d'autres études des plantes sur d'autres paramètres physiologiques du criquet grégariapte, notamment la fécondité et l'histologie du tube digestif.

L'ensemble des résultats obtenus dans cette étude nous mène à proposer des recherches approfondies sur le modèle de réponse à une infection microbienne des acridiens grégaires, ce afin de mettre en œuvre un mécanisme plus sophistiqué que celui imaginé auparavant, à savoir une intégration en plusieurs étapes du signal d'infection par plusieurs types de cellules, qui aboutit à la différenciation des différentes catégories d'hémocytes. Nos recherches sur la production en masse et la formulation des champignons entomopathogènes spécifiques aux criquets dans le but de les utiliser en lutte préventive au niveau des aires grégariennes afin de bloquer à la base le phénomène de grégarisation et empêcher la formation de bandes larvaires et d'essaims.

En somme, dans la cadre de la continuité de cet humble travail, nous envisageons de

poursuivre ces recherches afin de déterminer la nature du composé responsable de cette activité par fractionnement réalisé en parallèle avec des tests biologiques. Il est, aussi, nécessaire d'essayer différentes méthodes d'extraction afin de maximiser la valeur des métabolites contenus dans les différentes parties de la plante. D'autres plantes indigènes de la région doivent également être testées pour leur activité insecticide.

A decorative graphic of a scroll with a black outline and rounded corners. The scroll is partially unrolled, with the top and bottom edges curving upwards. The text is centered within the scroll.

# **Références bibliographiques**

1. **Abassi, K., Atay-kadiri, Z. et Ghaout, S. 2004-** Activité biologique des feuilles de *Calotropis procera* (Ait. R. Br) sur le criquet pèlerin (*Schistocerca gregaria*, Forsk. 1775). *Zool. baetica*, 15 : 153-166.
2. **Abbassi, K., Mergaoui, L., Atay-kadiri, Z., Ghaout, S. et Stambouli, A. 2005-** Activité biologique de feuilles de *Peganum harmala* (Zygophyllaceae) en floraison sur la mortalité et l'activité génésique chez le Criquet pèlerin. *Zool. Baetica*, 16 : 31- 46
3. **Abd El Galeil S.A.M., Abassy M.A. Belal A.S.H. et El Rasoul M.A.A, 2008-** Bioactivity of two major constituents isolated from the essential oil of *Artemisia judaica* L., *Bioresource Technology* (99): 5947–5950 p.
4. **Abdalla M.A., Luong-shovmand M.H., Lecoq M. et El-Bachir S., 2009-** Effect of some plant extracts on the migratory locust *locusta migratoria* L. *Arab J. Econ. Ent.*, 27(1): 99-102.
5. **Acheuk F., Abdellaoul K., Bendifallah L., Hammich A. et Semmar S., 2014-** Bioinsecticidal effects of a crude ethanolic extract of *Solenostemma argel* (Asclepiadaceae) against *Locusta migratoria* fifth instar larvae. *Conference: Xth European Congrees of Entomology*, ECE, 3-8.
6. **Al-Yahia., 1986-** Phytochemical studies of the plants used in traditional medicine of Saoudi Arabia. *Fitoterapia*, 179-182.
7. **Anonyme., 2007a-** Criquets ravageurs *Locusta migratoria* (Linné, 1758). Ed. CIRAD, Montpellier.
8. **Anonyme., 2007b-** Le criquet migrateur, un grand ravageur. Ed. CIRAD, Montpellier.
9. **Anonyme., 1992-** Surveillance des acridiens au sahel. *Lettre d'information*, 4, S.A.S., P.R.I.F.A.S., Montpellier, 17-18.
10. **Anonyme., 2007-** Bilans des campagnes Nationale de lutte contre le criquet marocain. Ed. Inst. Nat. Protec. Végét., 26 p.
11. **Appert J. et Deuse J., 1982-** Les ravageurs des cultures vivrières et maraîchères sous les tropiques. Ed. Maison Neuve et Larose, Paris, 419 pp.
12. **Arbonnier., 2002-** Arbres, Arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'ouest, CIRAD, 2<sup>ème</sup> édition, 160-165.
13. **Arnold J.W., 1974-** The haemocytes of insects. *Physiology Insect*. Academic Press, (5): 210-214.
14. **Balachowsky A. ET Mensil L., 1936-** Les insectes nuisibles aux plantes cultivées, leurs mœurs, leur destruction. Ed. Etablissement Busson, T. II, vol. III, Paris : 1141-1921.

15. **Barbouche N., Hajjem B., Lognay G. et Ammar M., 2001-** Contribution à l'étude de l'activité biologique d'extraits de feuilles de *Cestrum parqui* L'Hérit. (Solanaceae) sur le criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forsk.), *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 5 (2), pp. 85–90.
16. **Bellmann H. et Luquet G., 1995-** *Guide des Sauterelles, Grillons et Criquets d'Europe Occidentale*. Ed. Delachaux et Niestle, Lausanne, 384 p.
17. **Benabid K., 2021-** *Effet du champignon entomopathogène *Metarhizium anisopliae* var. *acridum* sur le tube digestif du criquet pèlerin, *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) (Orthoptera, Acrididae)*. Mém. Master, Ecol. Nati. Scien. Agron., El Harrach, 99 p.
18. **Benchelah A.C., Bouziane H., et Maka M., 2006-***Arbres et arbustes du Sahara. Voyages au cœur de leurs usages*. Ed. Ibis Press. Paris.239 p.
19. **Berhaut J., 1971-** *Flore illustrée du Sénégal : Dicotylédones, Acanthacées à avicenniacees*. Ed. Gouv. Du Sénégal, Ministère du Développement Rural, Dir. des Eaux et For., Tome I, Dakar, 626 p
20. **Berhaut J., 1975-** *Flore illustrée du Sénégal : Connaracées à Euphorbiacées*. Ed. Gouv. du Sénégal, Ministère du Développement Rural, Dir. des Eaux et For., Vol. 3, 330p.
21. **Bezaze G., 2011-** *Effet de laurier rose (*Nerium Oleander*) sur le criquet migrateur (*Locustamigratoria*) (Acrididae, Oedipodinae)*. Magist. Sci. Agro. Ecol. nat. sup. Agro. El Harrach, 148p.
22. **Bissaad F.Z., Youcef M., Bounaceur F. et Doumandji-Mitiche B., 2012-** Activité biologique d'un biopesticide le Green muscle sur le tégument du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) (Orthoptera, Acrididae). *Nature et Technologie*, (6) : 51-58.
23. **Bouhacein M., 1999 -** *Effet de deux entomopathogènes (*Hyphomycètes, Deuteromycotina*), *Beauveria bassiana* (Balasmo) Veuillemin et *Metarhizium flavoviride* Gams et *Rozyspal* sur les métabolites hémolympatiques, l'hémogramme et les protéines circulaires chez *Locusta migratoria* (Linné, 1758)*. Mém. Ing. Agro., Inst. Nati. Agro., El Harrach, 121 p.
24. **Bredo H. et Pasquier R., 1967 –** *Manuel antiacridien*. Ed. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, 164 p.
25. **Cavelier A., 1976-** *Cours phytopharmacie*. Ed. Inst. Nati. Agro., El-Harrach, T1. 514 p.

- 26. Chauvin R., 1956-** *Physiologie de l'insecte. Le comportement, les grandes fonctions, écophysiological.* Ed. Inst. Nat. Rech. Agron., 917p
- 27. Chopard L., 1932-** Sur la présence du criquet migrateur (*Locusta migratoria* L.) en Normandie. *Bulletin de la Société Entomologique de France*, Paris, 37 : 122-123.
- 28. Chopard L., 1938-** *La biologie des orthoptères.* Ed. Paul Le chevalier, Paris, 541p.
- 29. Chopard L., 1943-** Orthoptéroïdes de l'Afrique du Nord. Ed. Libraire Larose, Paris, 447 p.
- 30. Chopra I. C., Abrol B. K. et Handa K. L., 1960 -** *Les plantes médicinales des régions arides.* Ed. UNESCO, Rennes, France, 99 p.
- 31. Coper A., 1982-** *The locust and grasshopper agricultural manual for Overseas Pest Research, London. pp. 690. In Van Huis, A.,* Ed. Desert locust control with existing techniques. Proceeding of the seminar held in Wageningen: 11-17.
- 32. Copping L.G, 2001-** *The biopesticide manual.* Ed. British Crop Protection Council, United Kingdom, 528 p.
- 33. De Gregorio R., 1996 –** *Le criquet pèlerin Schistocerca gregaria, biologie et élevage : Durée de développement et rythme de ponte dans les conditions de laboratoire.* Ed. C.A.U.P.P.A., Serv. Film Rech. Scien., Pau (France), 5 p
- 34. De Kouassi., 2001-** les possibilités de la lutte microbiologique : emphase sur le champignon entomopathogène *Beauveria bassiana*. *Vertigo. La revue en sciences de l'environnement sur le web*, 2 (2) : 1-5.
- 35. De Negeiro M.C.C., Carvalho R.B.R, De Andrade F.G., Levy S.M., Moscardi F. et Rebels A.M.F., 2009-** Caracterização citológica dos hemócitos de *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera, Noctuidae) em larvas resistentes ao vírus AgMNPV. *Iheringia, Ser. Zool.*, Porto Alegre, 99 (1) : 66-70.
- 36. Dirsh V. M., 1975-** Classification of the Acridomorphoid Insects. Ed. E. W. Classey Ltd, Farinngdon, 171 p.
- 37. Dossou J., Hounzangbe A. S. et Soule H., 2006-** Production et transformation du lait frais en fromage peulh au Bénin, Guide de bonnes pratiques. Ed. Groupe de Recherche et d'Echanges Technologiques (GRET) et Centre d'Appui au Développement de la FSA (CAD/FSA), 30 p.
- 38. Doumandji-Mitiche B., Halouane F., Bensaad H., Bissaad F.Z. et Cherief A., 1999-** The efficiency of *Beauveria bassiana* (Bals) against *Locusta migratoria* and

*Schistocerca gregaria* (Orthoptera, Acrididae). *Med. Fac. Landbouww. Univ. Gent.*, 64, (3a): 205 – 209.

- 39. Duranton J. F., Foucart A. et Gay P. E., 2012-** *Florule des biotopes du Criquet pèlerin en Afrique de l'Ouest*. Ed FAO-CLCPRO/Cirad, Alger/Montpellier (France), 487 p.
- 40. Duranton J.F. et Lecoq M., 2009-** *Ecologie et maîtrise des populations d'acridiens Manuel de lutte préventive antiacridienne a Mdagascgara l'usage des prospecteurs*. Ed. Cirad, Montpellier, 307 p.
- 41. Duranton J.F. et Lecoq M., 1990-** *Criquet pèlerin au Sahel*. Ed. Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), Montpellier, 183 p.
- 42. Duranton J.F., Launois M., Launois-Luong M.H. et Lecoq M. et Rachadi T., 1987-** *Guide antiacridien du Sahel*. Ed. Cirad / Prifas, Départ. G.E.R.D.A.T, Montpellier, 343 p.
- 43. Duranton J.F., Launois M., Launois-Luong M.H. et Lecoq M., 1982-** *Manuel de prospection acridienne en zone tropicale sèche*. Ed. CIRAD / PRIFAS, Départ. G.E.R.D.A.T, Paris, T. I, 695 p.
- 44. Eisenbrand G., Pool-Zobel B., Baker V., Balls M, Blaauboer B.J., Boobis A., Carere A., Kevekordes S., Lhuguenot J.C., Pieters R. et Kleiner J., 2002-** Methods of in vitro toxicology. *Food Chem Toxicol.*, 40 : 193-236.
- 45. Frassens V., 2006-** *Study of two type of immune responses in insects: nodulation in the flesh fly, Neobellieriabulluta, and prophenoxidase activation in the dsesrt locust, Shistocercagregaria*. Thèse Doctorat Sci. Exactes, Uni. Catho. Louvain, Belgique, 117 p.
- 46. G.R.I.P.T., 2001-** Groupe de recherche et d'information sur la pharmacopée et l'environnement Tropical Association Loi 1901 : *Revue de Médecines et Pharmacopées Africaines*, V. 15.
- 47. Geraud M., 2007-** *Les syndromes hématologiques d'origine toxique chez les carnivores domestiques : étude clinique et synthèse bibliographique*. Thèse. Doct. Etat, Toulouse, 145p.
- 48. Grasse P.P., 1949-** *Traité de zoologie. Anatomie, systématique, biologie*. Ed. Masson, Paris, t. IX, 1117 p

- 49. Greathed P, Kooyman C, Launois-Luong M. H et Popov G.B., 1994-** *Les ennemis naturels des croquets du Sahel. Collection d'Acridologie Opérationnel. N°5.* Ed. CIRAD/PRIFAS. Montpellier.147p
- 50. Habes D. et Soltani N., 1992-** Perturbation de la structure de l'intestin et de l'hémogramme par le thurucide HP chez *Thaumetopeae pityocampa*. schiff. *Mem. Soc. Belge*, 35 : 724-726.
- 51. Haddadj F. et Doumandji-Mitiche B., 2013-** Effet du Champignon Entomopathogène *Beauveria bassiana* sur la Cuticule du Criquet Pèlerin *Schistocerca gregaria* (Orthoptera : Cyrthacantacridinae). *Entomologia Generalis*, 34 (3): 207-214.
- 52. Halouane F., Benzara A., Doumandji-Mitiche B. et Bouhacein M., 2001-** Effet de deux entomopathogènes, *Beauveria bassiana* et *Metarhizium flavoviride* (Hyphomycètes, Deuteromycotina) sur l'hémogramme des larves de 5ème stade et des adultes de *Locusta migratoria* (Orthoptera : Acrididae). *Jour. orthop. res.*, 10, (2) : 331 – 334
- 53. Hamadi K., Boudjenouia A., Kaci N. et Doumandji-Mitiche B., 2021-** Étude de l'activité biologique de l'huile essentielle de l'Origan (*Origanum glandulosum* L.) sur l'histophysiologie du tube digestif des adultes de *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775). *Egypt. J. Agric. Res.*, (2020), 98 (2), 327-337
- 54. Hamid-Oudjana A., 2017-** *Cholinestérases et toxicité d'extraits de quelques plantes acridicides ou acridifuges chez Schistocerca gregaria (Forskål, 1775I).* Thèse Doct. Es-Sciences. Univ. Ouargla. 93p
- 55. Hans-Dieter Neuwinger., 1990-** *Poisons and Drugs: Chemistry Pharmacology-Toxicology.* Ed. African Ethnobotany, 2ème Edition, 224-235.
- 56. Hifsa M., Ismat N. et Abida T., 2010-** Phytoremédiation du Cu (II) par les racines de *Calotropis procera*. *Sci a New York. J.*, 3 (3) : 1-5.
- 57. Kabre T A., 1987-** *Relationships and dynamics of predator and prey fish species in four reservoirs in Central Alabama. Master of Science thesis Fisheries Sciences, Department of Fisheries and Allied Aquaculture, Auburn University, Alabama, USA, 48p.*
- 58. Kadota K., Walter S., Claveria G., Igarashi I., Taylor D. et Fujisaki K., 2003-** Morphological and population al characteristics of Hemocytes of *Ornithodoros moubata* Nymphs During Ecdysial Phase. *Journ. Medic. Entomo.*, 40 (6): 770-776.
- 59. Kaidi N., 2007-** *Bioécologie de Schistocercagregaria (Forskål, 1775) (Acrididae, Cyrtacanthacridinae) dans la région d'Ahaggar. Essai de lutte biologique au moyen de*

*champignons entomopathogènes : Beauveria bassiana et Metarhizium anisopliae var. acridium*. Thèse Magister, Inst. Nat. Agro., El Harrach, 145 p.

- 60. Kaidi N., 2018-** *Bioécologie et Distribution Spatio-temporelle Des Populations Solitaires Du Criquet Pèlerin (Schistocerca gregaria Forskal, 1775) (Orthoptera, Acrididae) En Période De Rémission Dans Le Sud Algérien Et Essais De Lutte Biologique*. Thèse, Doc. Ecol. Nat. Sup. Agro. El Harrach, 186p.
- 61. Kaidi N., Amroun C., Hocine DJ., Doumandji S. et Ghazali DJ., 2017-** Biological activity of *Calotropis procera* Ait on mortality and haemogram of *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) and *Locusta migratoria* (Linné, 1758). *Advances in Environmental Biology*, 11(4): 37-45.
- 62. Kemassi A., Herouini A., Hadj S.A., Cherif R. et Ould Elhadj M.D., 2019-** Effet insecticide des extraits aqueux d'*Euphorbia Guyoniana* (Euphorbiaceae) récoltée dans Oued Sebseb (Sahara algérien) sur le *Tribolium Castaneum*. *Lebanese Science Journal*, Vol. 20, No. 1, pp :55-70.
- 63. Kemassi A., Boual Z., Bouzianz N., Ould El Hadj-Khelil A. et Ould El Hadj M.D., 2013-** biological activity of essential oils leaves from one Sahara plant: *Peganum harmala* L. (Zygophyllaceae) on the desert locust. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 2(8): 389-395.
- 64. Kemassi A., Boual Z., Lebbouz I., Daddi Bouhoun M., Saker M. L., Ould El Hadj-Khelil A., et Ould El Hadj M. D., 2012-** Etude de l'activité biologique des extraits foliaires de *Cleome arabica* L. (Capparidaceae). *Lebanese Science Journal*, Vol. 13, No. 2, Pp. 81-97
- 65. Kemassi A., 2008-** *Toxicité comparée des extraits de quelques plantes acridifuges du Sahara septentrional Est algérien sur les larves du cinquième stade et les adultes de Schistocerca gregaria (Forskål, 1775)*. Thèse Magister. Sci. Agro. Univ, Kasdi Merbah. Ouergla, 150 p.
- 66. Kemassi A., S. Darem. R. Cherif, Z. Boual, S.E. Sadine, M.S Aggoune, A. Ould Hadj-Khellil et M.D. Ould El Hadj., 2014-** Recherche et identification de quelques plantes médicinales à caractère hypoglycémiant de la pharmacopée traditionnelle des communautés de la vallée du M'Zab (Sahara septentrional est-algérien). *Journal of Advanced Recherche in science and technology*, Volume 1, Numero 1, Pages 1-5.
- 67. Klowden., 2013-** *Physiological Systems in Insects*. Ed Academic Print of Elsevier. USA. 696 p.

- 68. Lahoues E., Tiarou G. G., Monde A. A., Djinhi J. et Sess E.D., 2006-** Propriété toxicologiques aiguës du latex de *Calotropis procera* chez le rat. *Méd. Trad. Afr.*, (XIV) :187-199.
- 69. Launois-Luong M. H., Launois M. et Rachadi T., 1988-** *La lutte chimique contre les criquets au sahel*. Ed. Cirad/Prifas, 'Collection Acridologie Opérationnelle n°3', Montpellier, 44 p
- 70. Launois-Luong M.A et Popov G.B., 1992-** *Schistocerca gregaria* (Fork. 1775) (Acrididae, Cyrtacanthacridinae). Ed. CIRAD/PRIFAS, 4p.
- 71. Launois-Luong M.H. et Lecoq M., 1989-** *Vade Mecum des criquets du Sahel*. Ed. CIRAD / PRIFAS, Montpellier, n°5, 125 p.
- 72. Launois-Luong M.H. et Lecoq M., 1993-** *Manuel explicatif du code OMM de transmission des informations sur les criquets ravageurs*. Ed. Org. Météo. Mond. Et Org. Islam. Educ. Scie. Cult., Genève, 30 p.
- 73. Lavine M.D. et Strand M.R., 2002-** Insect hemocytes and their role in immunity. Vol 32, Issue 10, pp 1295-1309. *Insect Biochem Mol Biol*, 32 (10) : 1295-309.
- 74. Lazar P., 1968-** Les essais biologiques. *Revue de statistique appliquée*, 16 (3): 5-35.
- 75. Lecoq M., 2004-** Vers une solution durable au problème du Criquet pèlerin. *Sécheresse*, vol. 15 (3) : pp. 217-224
- 76. Lecoq M., 2005-** *Enseignement de la récente invasion du Criquet pèlerin en Afrique*. Ed. CIRAD.Montpellier.17p.
- 77. Legall P., 1989-** Le choix des plantes nourricières et la spécialisation trophique chez les Acridoidae (Orthoptera). *Bull. écol.*, 20, (3) : 245 – 261.
- 78. Lepesme P., 1938-** Note preliminaire sur la cytologie du sang des acridiens. *Bull. soc. hist. nat. Afr. Nord*, T. XXIX : 241-250.
- 79. Lomer C J. et Prior C., 1992-** Lutte biologique contre les acridiens. *Comptes rendus Institut. National d'Agriculture et Tropicale*. Cotonou : 79-88.
- 80. Louveaux A. et Benhalima T., 1987-** Catalogue des orthoptères Acridoidea d'Afrique du Nord. Ouest. *Bull. Soc. Ent., France*, T. 91, n° (3 – 4), pp : 73 – 87
- 81. Luong-Skormand M.H., Rachadi T. et Lecoq M., 1999-** *La lutte contre les criquets ravageurs : l'intérêt des mycopesticides*. Ed. Cirad-Amis-Programme
- 82. Mamadou A., Mazih A. et Alzouma B., 2009 –** Effet des régimes alimentaires sur le nombre de pontes et la perte en eau chez le Criquet pèlerin (*Schistocerca gregaria* Forskål 1775) (Orthoptera : Acrididae). *Zool. Baetica*, 20 : 85-95.

- 83. Masson M. et Mchive F., 1989-** *Le criquet migrateur africain, biologie et lutte*. Ed. Bayer. Division phytosanitaire, Hevertusen, R.F.A., pp : 18 – 20
- 84. Masson M., 1989 –** *Locustes et sautériaux : Le criquet migrateur africain : Biologie et lutte*. Ed. Bayer, Hevertusen, 39 p.
- 85. Meynadier G., Amargier A., Girardie J.E Vago C., 1992-** Une entomopoxvirose chez l'orthoptère *Anacridium aegyptium*. *Entomophaga*, 37, 453-464 p.
- 86. Millat-Bissaad F.Z., Bounaceur F., Halouane F., Outtar F. et Doumandji-Mitiche B., 2011-** Etude de l'effet de deux champignons entomopathogènes *Beauveria bassiana* et *Metarhizium anisopliae* var *acridum* sur le comportement alimentaire de *Schistocerca gregaria*. *Algerian journal of arid environment*, 1 (2) : 40-51.
- 87. Miller L. K., Lingg A. J., et Bulla L. A., 1983-** Bacterial, viral and fungal insecticides. *Sci*, 219 : 715-721.
- 88. Moussa A., 2003-** *Effet de l'huile de neem (Azadirachta indica) sur quelques paramètres biologiques et physiologiques de Locusta migratoria migratoria (Linné, 1758) et Locusta migratoria migratorioïdes (R et F, 1850) (Orthoptera, Acrididae)*. Mém. Mag. Sci. Agro., Ecol. Nati. Sup. Agro., El Harrach, 123 p.
- 89. Nacoulma nee Ouedraogo G. O., 1996-** *Les plantes médicinales et pratiques médicinales traditionnelles au Burkina Faso. Cas du plateau central*. Thèse de doctorat ès sciences naturelles. FA.S. T Ouagadougou. Tome I et II, 605p.
- 90. Nikiema W.P.R., 2005-** *Les propriétés pharmacochimiques de Calotropis procera Ait. (asclepiadaceae) récoltée au Mali : étude préclinique des effets anti-inflammatoires et antimicrobiens des extraits des écorces des racines*. Thèse Doctorat, Faculté de médecine de pharmacie et d'onto-stomatologie, Univ bamako, Mali.
- 91. Olson H., Betton G., Robinson D., Thomas K., Monro A., Kolaja G. , Lilly P., Sanders J., Sipes G., Bracken W., Dorato M., Van Deun K., Smith P., Berger B. et Heller A., 2000-** Concordance of the toxicity of pharmaceuticals in humans and in animals. *Regul. Toxicol. Pharmacol.*, 32 (1) :56-67.
- 92. Ould El Hadj M. D., Tankari Dan-Badjo A., Halouane F. et Doumandji S., 2006-** Toxicité comparée des extraits de trois plantes acridifuges sur les larves du cinquième stade et sur les adultes de *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) (Orthoptera-Cyrtacanthacridinae). *Sécheresse*, vol. 17(3) : 407-414.
- 93. Paillot A., 1933-** *Linfection chez les insectes*. Ed. Patissier, Paris, 471 p.

- 94. Pandey U.B., Nie Z., Batlevi Y., Mccray B.A., Ritson G.P., Nedelsky N.B., Schwartz S.L., Diprospero N.A., Knight M.A., Schuldiner O., Padmanabhan R., Hild M., Berry D.L., Garza D., Hubbert C.C., Yao T.P., Baehrecke E.H., Taylor J.P., 2007-** HDAC6 rescues neuro de generation and provides an essential link between autophagy and the UPS. *Nature*, 447(7146) : 859--863.
- 95. Parvais M.P., 2000-** *Etude ethnobotanique de plantes utilisées pour le traitement de la drépanocytose au Burkina Faso*. Mém. Pharm. Bruxelles 73p.
- 96. Pastre A., Smolikowski S. et Thews G., 1988-** *La lutte antiacridienne, dossier deltamethrine*. Ed. Roussel UCLAF, Divis. Agro-vert, Paris,
- 97. Payne C. C., 1982-** Insectviruses as control agents. *Parasitology* ,84 : 35-77.
- 98. Popov G.B., 1959-** Ecological studies on oviposition by *Locusta migratoria* (R.&F) in its outbreak area in the French Sudan. *Locusta*, n°6:P. P 5-63.
- 99. Popov G.B., 1996-** Quelques effets de la sécheresse sahélienne sur la dynamique des populations acridiennes. *Sécheresse*, n°2, vol. 7, 91-97.
- 100. Popov G.B., Duranton J. F. et Gigault J., 1991-** *Etude écologique des biotopes du criquet pèlerin Schistocerca gregaria (Forsk., 1775) en Afrique du Nord Occidentale*. Ed. Cirad/ Prifas, Minist. Coop. Dév. ONU, Cent. Coop. Inter. Rech. Agro. Dév., 743 p
- 101. Popov G.B., Launois-Luong M.H. et Van Der Veel J.J., 1990-** *Les oothèques des criquets du Sahel*. Ed. CIRAD/PRIFAS, 'Collection Acridologie Opérationnelle n°7', Montpellier, 153p.
- 102. Quezel P. et Santa S., 1963-** *nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales*. Ed. Centre National de la recherche scientifique. Paris, T. II, 1170 p.
- 103. Raccaud-Schoeller J., 1980-** *Les insectes : physiologie et développement*. Ed. Masson, Paris, 296 p.
- 104. Remaudiere G., 1954-** Etude écologique de *Locusta migratoria migratorioedes* (orthoptera, acrididae) dans la zone de Niger de 1950, *Locusta*, n°2.
- 105. Rosales C., 2017-** Cellular and Molecular Mechanisms of Insects Immunity. *Insects Phys. Ecol.*, 8: 180-2012.
- 106. Seignobos C., 2016-** L'arbuste *Calotropis procera*, un épisode de son histoire dans le bassin du lac Tchad. *Revue d'ethnoécologie*, (9) :1 -20
- 107. Soltan, E. M., et Said, M. S. 2020-** Effectiveness of *Calotropis procera* latex against late nymphal instars of *Locusta migratoria* L. (Orthoptera: Acrididae). *Egypt. J. Agric. Res.*, 98 (2), 327-337.

- 108. Starnes R. L., Liu et Marone P.G., 1993-** History, use and future of microbial insecticides. *American Entomol*, 39 :83-91.
- 109. Statsoft., 2010-** *Statistica version 8.1*, Ed Statsoft, Inc., U.S.A., CD-ROM.
- 110. Steedman A., 1988-** *Manuel de lutte antiacridienne Pest Overseas. Development*. Ed. Nat. Ress. Inst., London, XII, 180 p.
- 111. Steedman A., 1988b-** *Manuel de lutte anti-acrididienne*. Ed. ODNRI., France, 71 pp.
- 112. Symmons et Cressman, 2001-** *Directives sur le criquet pèlerin : Le criquet pèlerin, biologie et comportement*. Ed. Food Alimentation Organisation (F.A.O.), Rome, 43 p.
- 113. Tetefort J. et Wintrebert D., 1963-** Eléments d'Acridologie pratique à Madagascar. *AgronomieTropicale*, 9 : 876-932.
- 114. Thiam A, Diouf H.R, Kuiseual J, Sarr A. et Thiam M., 2004-** *Pesticides et Alternatives- Lutte antiacridienne : Guérir c'est bien, mais prévenir c'est mieux*. Ed. Pesticide Action Network. PAN Africa. Dakar. 23p.
- 115. Thiaw C., 2008-** *Bioactivité des extraits de Calotropisprocera Ait. Et de Senna occidentalis L. sur Caryedon serratus (OL.), ravageur des stocks et semences d'arachides au Sénégal*. Thèse Doctorat, Université Cheikh Anata Diop de Dakar (Sénégal), 196 p
- 116. Thiaw C. et Sembene M., 2010-** Biopesticide activity of crude extracts and fractions of *Calotropis procera* Ait. towards the groundnut seed-beetle *Caryedon serratus* OI. (Coleoptera, Bruchidae). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 4(6): 2220-2236.
- 117. Upadhyay R.K., 2014-** Ethnomedicinal, pharmaceutical and pesticidal uses of *Calotropis procera*(aiton). (Asclepiadaceae). *Int. Journ. Green pharm.* (8): 135-46.
- 118. Uvarov B.P., 1921-** A revision of the genus *Locusta*, L. (*Pachytylus*, Fieb.) with a new theory as to the periodicity and migrations of locusts. *Bull. Ent. Res.* 12: 135-163
- 119. Uvarov B.P., 1923-** Quelques problèmes de la biologie des sauterelles. *Ann. Epiphyties*, 9 : 84-108
- 120. Uvarov B.P., 1966-** *Grasshoppers and Locusts. A Handbook of General Acridology. I: Anatomy, Physiology, Development, Phase-polymorphism, Introduction to Taxonomy*. Ed. Cambridge University Press, London, (1): 481p.
- 121. Vincent C. et Coderre D., 1992-** *La lutte biologique*. Ed. Gaston Morin, Quebec, 671 p.
- 122. Von Maydell H.J., 1990-** *Arbres et arbustes du Sahel : leurs caractéristiques et leurs utilisations*. Ed. Verlag Josef Margraf. Scientific books. 295 p.

- 123. Wadhvani B.D., Mali D., Vyas P., Nair R et Khandelwal P., 2021-** A review on phytochemical constituents and pharmacological potential of *Calotropis procera*. *Royal Society of Chemistry Adv.*, (11): 35854-35878.
- 124. Wigglesworth B., 1972-** *The principles of insects physiology*. Ed. Chapman and Hall, London, New York, 827 p.
- 125. Woodring, 1985-** *Circulatory system*. Ed. MS Blum (Fundamental of Insect Physiology), pp: 5-57.
- 126. Zakaria O., Sagnias B., 2003-** *Lutte intégrée contre les sautériaux et les locustes : importance du biopesticide Green Muscle*. Ed. Centre Régional Agrhymet, Vol. 5 (3), 15p.

**Annexe 1. Mortalités des imagos de *L. migratoria* traités par l'extrait aqueux de *C. procera***

	Témoins					Traités D=0,025 g/ml					Traités D=0,05 g/ml					Traités D=0,1 g/ml				
<b>Jours</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>M.Moy %</b>	<b>ET</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>M.Moy %</b>	<b>ET</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>M. Moy %</b>	<b>ET</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>M. Moy %</b>	<b>ET</b>
<b>1</b>	0	0	0	<b>0</b>	0	0	0	0	<b>0</b>	0	0	0	0	<b>0</b>	0	0	0	0	<b>0</b>	0
<b>2</b>	0	0	0	<b>0</b>	0	0	0	0	<b>0</b>	0	0	0	0	<b>0</b>	0	0	0	0	<b>0</b>	0
<b>3</b>	0	0	0	<b>0</b>	0	33,33	0	0	<b>11,11</b>	19,2430845	33,33	33,33	0	<b>22,22</b>	19,243	33,33	33,33	33,33	<b>33,33</b>	0
<b>4</b>	0	0	0	<b>0</b>	0	33,33	0	0	<b>11,11</b>	19,2430845	33,33	33,33	33,33	<b>33,33</b>	19,243	50	50	50	<b>50</b>	0
<b>5</b>	0	0	0	<b>0</b>	0	33,33	0	0	<b>11,11</b>	19,2430845	33,33	33,33	33,33	<b>33,33</b>	19,243	50	75	50	<b>58,33333</b>	14,4337567
<b>6</b>	0	0	0	<b>0</b>	0	66,66	0	33,33	<b>33,33</b>	33,33	66,66	33,33	33,33	<b>44,44</b>	33,33	50	75	50	<b>58,33333</b>	14,4337567
<b>7</b>	0	0	0	<b>0</b>	0	66,66	0	33,33	<b>33,33</b>	33,33	66,66	33,33	33,33	<b>44,44</b>	33,33	50	75	50	<b>58,33333</b>	14,4337567
<b>8</b>	0	0	0	<b>0</b>	0	66,66	0	33,33	<b>33,33</b>	33,33	66,66	33,33	66,66	<b>55,55</b>	33,33	50	75	50	<b>58,33333</b>	14,4337567
<b>9</b>	0	0	0	<b>0</b>	0	75	50	50	<b>58,33333</b>	14,4337567	100	33,33	66,66	<b>66,66333</b>	33,335	50	75	50	<b>83,33333</b>	14,4337567
<b>10</b>	0	0	0	<b>0</b>	0	100	75	75	<b>83,33333</b>	14,4337567	100	75	75	<b>83,33333</b>	0	75	100	75	<b>100</b>	0
<b>11</b>	25	0	0	<b>8,333333</b>	11,785113	100	100	100	<b>100</b>	0	100	100	100	<b>100</b>	0	100	100	100	<b>100</b>	0
<b>12</b>	25	0	0	<b>8,333333</b>	11,785113	100	100	100	<b>100</b>	0	100	100	100	<b>100</b>	0	100	100	100	<b>100</b>	0

**Annexe 2. Mortalités des imagos de *L. migratoria* traités par l'huile essentielles de *C. procera***

Jours	Témoins					Traités				
	R1	R2	R3	M. Moy %	ET	R1	R2	R3	M. Moy %	ET
1 <sup>er</sup>	0	0	0	<b>0</b>	0	50	25	25	<b>33,3333333</b>	14,4337567
2 <sup>ème</sup>	0	0	0	<b>0</b>	0	75	50	75	<b>66,6666667</b>	14,4337567
3 <sup>ème</sup>	0	0	0	<b>0</b>	0	100	100	100	<b>100</b>	0
4 <sup>ème</sup>	0	0	0	<b>0</b>	0	100	100	100	<b>100</b>	0
5 <sup>ème</sup>	0	0	0	<b>0</b>	0	100	100	100	<b>100</b>	0
6 <sup>ème</sup>	0	0	0	<b>0</b>	0	100	100	100	<b>100</b>	0
7 <sup>ème</sup>	0	0	0	<b>0</b>	0	100	100	100	<b>100</b>	0
8 <sup>ème</sup>	0	0	0	<b>0</b>	0	100	100	100	<b>100</b>	0
9 <sup>ème</sup>	0	0	0	<b>0</b>	0	100	100	100	<b>100</b>	0
10 <sup>ème</sup>	0	0	0	<b>0</b>	0	100	100	100	<b>100</b>	0

**Annexe 3. Nombre et taux de prohémyocytes chez les imagos de de *L. migratoria* traités par l'extrait aqueux et l'huile essentielle de *C. procera***

	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>Moyenne</b>	<b>ET</b>
<b>Témoins</b>	92	111	97	100	9,8488578
<b>Extraits aqueux</b>	14	5	13	10,6666667	4,93288286
<b>Huile essentielle</b>	3	11	6	6,6666667	4,04145188

**Annexe 4. Nombre et taux de plasmatocytes chez les imagos de de *L. migratoria* traités par l'extrait aqueux et l'huile essentielle de *C. procera***

	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>Moyenne</b>	<b>ET</b>
<b>Témoins</b>	185	151	136	157,333333	25,1064401
<b>Extraits aqueux</b>	11	2	8	7	4,58257569
<b>Huile essentielle</b>	5	3	1	3	2

## **Titre :**

**Mise en évidence de l'action toxique de *Calotropis procera* (Aiton, 1811) vis-à-vis de la mortalité et l'hémolymphe des imagos de *Locusta migratoria* (Linné, 1758).**

## **Résumé :**

Notre travail consiste à étudier l'effet toxique de l'extrait aqueux et de l'huile essentielle des feuilles du Pommier de Sodome *Calotropis procera* sur la mortalité et l'hémolymphe des imagos du criquet migrateur *Locusta migratoria*. Le screening phytochimique de la ladite plante a révélé la présence d'alcaloïdes, de flavonoïdes, de saponines, de tannins, de coumarines et de stérols et triterpènes. Les bio-essais à base de l'extrait aqueux de *C. procera* ont engendré 50% de mortalité au bout de 9<sup>ème</sup>, 8<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> jour, respectivement pour les doses D1, D2 et D3 et une mortalité totale qui a été enregistrée entre le 10<sup>ème</sup> et le 11<sup>ème</sup> jour de traitement. S'agissant de l'huile essentielle, son traitement a induit la mortalité des premiers individus, après seulement 01mn 52 sec, alors que 100% de mortalité a été noté au bout du 3<sup>ème</sup> jour de traitement. Aussi, l'extrait aqueux a provoqué, chez les individus traités, une diminution instantanée de la prise de nourriture et de la mobilité, accompagnés d'un affaiblissement des criquets traités, suivie d'une paralysie quasi-totale de leurs corps et une coloration foncée de leurs abdomens. Quant à l'huile essentielle de *C. procera*, elle a manifesté, une excitation des pièces buccales avec des frottements successifs des pattes, voir des tremblements, des troubles de l'équilibre et même des mouvements convulsifs. Parallèlement, l'observation microscopique du frottis hémolymphatique des individus traités a fait ressortir l'attaque des toxines de *C. procera* contre les cellules, traduite par un aspect rétracté, dense et diffus des hémocytes regroupées en amas. Nous avons également observé la libération des granules de sécrétion par les granulocytes, accompagnée par une désagrégation presque totale des cellules hémolymphatiques dont la plupart se sont vidées de leur contenu cellulaire, ne laissant que des débris. Aussi, certaines hémocytes ont émis des extensions filamenteuses de la membrane cytoplasmique ressemblant à des invaginations d'endocytose appelées pseudopodes. En plus de ces altérations structurales des hémocytes, le nombre de ces dernières a chuté d'une façon remarquable.

## **Mots clés :**

*Locusta migratoria*, *Calotropis procera*, extrait aqueux, huile essentielle, mortalité, hémogramme, toxicité, altération structurales.

**Title :**

**Evidence of the toxic action of *Calotropis procera* (Aiton, 1811) on the mortality and hemolymph of *Locusta migratoria* (Linnaeus, 1758) imagos.**

**Summary :**

Our work consists in studying the toxic effect of the aqueous extract and essential oil of the leaves of *Calotropis procera* against the mortality and hemolymph of imagos of the migratory locust *Locusta migratoria*. Phytochemical screening of the plant revealed the presence of alkaloids, flavonoids, saponins, tannins, coumarins, sterols and triterpenes. The bioassays using the aqueous extract of *C. procera* generated 50% of mortality after days 9, 8 and 4, respectively, for doses D1, D2 and D3, with total mortality recorded between days 10 and 11 of treatment. As for the essential oil, its treatment induced the mortality of the first individuals after only 01mn 52 sec, while 100% mortality was noted at the end of the 3rd day of treatment. The aqueous extract also caused an instant reduction in food intake and mobility in treated individuals, accompanied by a weakening of the treated locusts, followed by near-total paralysis of their bodies and darkening of their abdomens. As for *C. procera* essential oil, it caused excitation of the mouthparts, with successive rubbing of the legs, tremors, disturbances of balance and even convulsive movements. At the same time, microscopic observation of the hemolymphatic smears of treated individuals revealed the attack of *C. procera* toxins on the cells, reflected by a retracted, dense and diffuse appearance of hemocytes grouped in clusters. We also observed the release of secretory granules by the granulocytes, accompanied by an almost total disintegration of the hemolymphatic cells, most of which were emptied of their cellular content, leaving only debris. Also, some hemocytes emitted filamentous extensions of the cytoplasmic membrane resembling invaginations of endocytosis called pseudopodia. In addition to these structural alterations, the number of hemocytes have decreased remarkably.

**Key words:**

*Locusta migratoria*, *Calotropis procera*, aqueous extract, essential oil, mortality, blood count, toxicity, structural alterations.

عنوان :

توضيح للعمل السام لـ *Calotropis procera* ( Aiton, 1811 ) فيما يتعلق بالوفيات والدم لMF في صور الجراد المهاجر (Linné, 1758).

### ملخص :

*Calotropis procera* يتكون عملنا من دراسة التأثير السام للمستخلص المائي والزيت الاساسي لأوراق شجرة تفاح سدوم . أظهر الفحص الكيميائي *Locusta migratoria* على معدل الوفيات والدم لMF في صور الجراد المهاجر *procera* النباتي للنبات المذكور وجود قلويدات وفلافونيدات وصابونين وعفص وكومارين وستيرول وترايثيربين. أنتجت معدل وفيات بنسبة 50% بعد اليوم التاسع والثامن *C. procera* الاختبارات الحيوية المستندة إلى المستخلص المائي لـ وإجمالي الوفيات التي تم تسجيلها بين اليوم العاشر والحادي عشر من D3 وD2 وD1 والرابع، على التوالي للجرعات العلاج. فيما يتعلق بالزيت الاساسي ، تسببت معالجته في وفاة الأفراد الأوائل، بعد 01 دقيقة و 52 ثانية فقط، بينما لوحظت وفيات بنسبة 100% بعد اليوم الثالث من العلاج. كما تسبب المستخلص المائي لدى الأفراد المعالجين في انخفاض فوري في تناول الطعام والحركة، مصحوبًا بإضعاف الجراد المعالج، يليه شلل شبه كامل في أجسامهم وتغير لون بطونهم إلى اللون فقد أظهر إثارة أجزاء الفم مع الفك المتتالي للأقدام، وحتى الارتعاشات *C. procera* الداكن. أما الزيت الاساسي لنبات واضطرابات التوازن، وحتى الحركات المتشنجة. في الوقت نفسه، سلطت المراقبة المجهرية لطخة الدم للمفاوية للأفراد على الخلايا، وهو ما ينعكس في المظهر المترجع والكثيف والمنتشر *C. procera* المعالجين الضوء على هجوم سموم للخلايا الدموية المجمعة في مجموعات. لاحظنا أيضًا إطلاق حبيبات إفرازية من الخلايا المحببة، مصحوبة بتفكك شبه كامل للخلايا للمفاوية الدموية، والتي تم إفراغ معظمها من محتوياتها الخلوية، ولم يتبق سوى الحطام. أيضًا، تبعث بعض الخلايا الدموية امتدادات خيطية للغشاء السيتوبلازمي تشبه الغزوات الداخلية التي تسمى الأرجل الكاذبة. بالإضافة إلى هذه التغييرات الهيكلية للخلايا الدموية، انخفض عدد هذه الأخيرة بشكل ملحوظ.

الكلمات الدالة :

الجراد المهاجر، كالتروبيس بروسيرا، مستخلص مائي، زيت أساسي، الوفيات، تعداد الدم، السمية، التغييرات الهيكلية.