

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA - Béjaïa

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des sciences biologiques de l'environnement
Spécialité biodiversité et sécurité alimentaire



Réf :

Mémoire de Fin de Cycle
En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Thème

Étude d'un ectoparasitoïde solitaire, *Anisopteromalus calandrae* (Hymenoptera : Pteromalidae), en situation de compétition intraspécifique et de son potentiel de suppression des populations de bruches

Présenté par :

Redjdal Lydia & Ferroudj Ibtissam

Soutenu le : 03 Juillet 2024

Devant le jury composé de :

M. HAMLAT M.

MCB

Président

Mme. BENKHELLAT O.

MCB

Encadreur

Mme. AYOUNI Z.

MAA

Examineur

Année universitaire : 2023 / 2024

Remerciements

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail :

Tout d'abord, nous remercions Dieu le tout-puissant pour nous avoir accordé la force et les connaissances nécessaires pour mener à bien cette tâche.

Un grand merci à notre promotrice, Mme O. Benkhellat, pour son soutien inestimable, son expertise scientifique et sa patience tout au long de nos recherches.

Nous sommes également reconnaissants envers les membres du jury, M. Hamlat et Mme Z. Ayouni, pour avoir accepté d'évaluer notre travail et pour leurs précieux commentaires.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à Mr K. Bensaïd pour son aide précieuse dans la réalisation des tests statistiques de notre travail

Nous exprimons notre gratitude envers nos familles pour leur soutien constant, sans lequel ce projet n'aurait pas pu aboutir.

Enfin, nous saluons chaleureusement tous les membres du laboratoire, ainsi que leur directeur, ingénieurs, et doctorants, pour leur contribution essentielle à la réussite de nos expériences.



- R.Lydia & F.Ibtissam -

Dédicaces

Je dédie le présent travail

*A la mémoire de mon frère Okba qu'il repose en paix et que
Dieu l'accueille dans son vaste paradis*

A ma Mère,

*“ Tu m’as donné la vie, la tendresse et le courage pour réussir.
Tout ce que je peux t’offrir ne pourra exprimer l’amour et la
reconnaissance que je te porte.*

*En témoignage, je t’offre ce modeste travail pour te remercier
pour tes sacrifices et pour l’affection dont tu m’as toujours
entourée.*

A mon Père,

*“L’épaule solide, l’œil attentif compréhensif et la personne la
plus digne de mon estime et de mon respect.*

*Aucune dédicace ne saurait exprimer mes sentiments, que
Dieu te préserve et te procure santé et longue vie. “*

*Mes très chères adorables sœurs qui ont été toujours à mes
côtés :*

A mes chers adorables frères

A Toute ma grande famille

A mes chères et meilleures amies

A tous ce que je connais sans exception



RLydia -

Dédicaces

Le voyage n'a pas été court et il ne devrait pas l'être, le rêve n'était pas proche Mais je l'ai fait et je l'ai obtenu. Louanges à Dieu, aujourd'hui je regarde un rêve longtemps attendu devenir réalité et j'en suis fière.

Avec tout mon amour, je dédie le fruit de mon succès et de ma remise de diplôme

A mes chers parents, pour tous leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tous au long de mes études,

A mon cher frères Yazid et mes sœurs Kahina et Wissam pour leurs encouragements permanents et leur soutien moral,

A Mes Amis, Merci également à tous, mes collègues et tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à réaliser ce travail.



- F.Ibtissam -

Sommaire

Sommaire

Remerciements	
Dédicaces.....	
Dédicaces.....	
Introduction Générale	1

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

PREMIERE PARTIE : Les légumineuses et les moyens de lutte utilisés contre les ravageurs.....	4
I.1. Les légumineuses	4
I.1.1.L'importance des légumineuses	4
I.2.Les Méthodes de stockage de grains de légumineuse	4
I.3.Les dégâts causés par les ravageurs durant le stockage	5
I.4.Les ravageurs menaçant les stocks des légumineuses.....	6
I.5.Les moyens de lutte contre les ravageurs.....	7
I.6.Les différentes stratégies de lutte biologique dans les stocks	9
I.7.La lutte biologique	9
I.8. La compétition chez les parasitoïdes.....	11
DEUXIEME PARTIE : Présentation du système tri-trophique étudié.....	14
I.1. La description et La position systématique de niébé	14
I.2. Le phytophage (hôte) : <i>Callosobruchus maculatus</i>	16
I.3. Le parasitoïde <i>Anisopteromalus calandrae</i>	20

Chapitre II : Matériel et Méthodes

II.1.Matériel biologique et expérimental : le système tri-trophique	23
II.2.Protocoles expérimentaux.....	24
II.2.1.Conditions d'élevage des insectes étudiés au laboratoire	24
PREMIERE PARTIE : Comportement de ponte et activité parasitaire chez <i>A.calandrae</i> .	28
II.1. Comportement de ponte des femelles	28
II.2. Activité de ponte	28
II.3. Fertilité et sex-ratio	28
DEUXIEME PARTIE : Influence du nombre des femelles d' <i>Anisopteromalus calandrae</i> sur la descendance	29
II.1. Préparation de femelle	29
TROISIEMES PARTIE : Teste de lutte	30
II.1. Réalisation du teste	30

Sommaire

II.2. Analyse statistique	31
---------------------------------	----

Chapitre III : Résultats et Discussion

PREMIERE PARTIE : Comportement de ponte et activité parasitaire de l'espèce	32
III.1. Comportement de ponte des femelles.....	32
III.2. Activité de Ponte	33
III.3. Influence de la compétition du nombre des femelles d' <i>Anisopteromalus calandrae</i> sur la descendance et le sex-ratio	34
III.4. Teste de lutte biologique	36
III.4.1. Effet de l'introduction des parasitoïdes sur les populations de bruches.....	36
III.4.2. L'effectif des bruches émergées	36
III.4.3. Taux de réduction des bruches	37
III.4.4. Taux de parasitisme	38
III.4.5. Mortalité induite des parasitoïdes (PIM)	38
III.4.6. Descendance et Sex-ratio.....	39
III. Discussion.....	40
III.1. Comportement de ponte et l'activité parasitaire chez <i>A.calandrae</i>	40
III.2. Influence de la compétition entre les femelles d' <i>A.calandrae</i> sur la descendance et le sex-ratio:	42
III.3. La lutte biologique.....	43
Conclusion Générale et Perspectives.....	46
Références bibliographiques.....	
Annexes	
Résumé	

Liste des figures

Figure 1 : Les organismes utilisée en lutte biologique dans les stocks	10
Figure 2 : Caractéristique de choix de ponte d'une femelle d'une espèce solitaire.	13
Figure 3 : Plante de niébé	15
Figure 4 : Graines de niébé.....	15
Figure 5 : Adultes de l'espèce <i>Callosobruchus maculatus</i> obtenus sur graines de niébé au laboratoire.....	16
Figure 6 : Les stades larvaires, nymphaux et imaginaux de <i>C. maculatus</i>	18
Figure 7 : Le cycle du développement de <i>Callosobruchus maculatus</i>	19
Figure 8 : Les Dégâts cause par <i>C.maculatus</i>	20
Figure 9 : Mâle et femelle d' <i>Anisopteromalus calandrae</i>	21
Figure 10 : Cycle du développement d' <i>Anisopteromalus calandrae</i>	22
Figure 11 : le matériel utilisé	23
Figure 12 : Elevage de bruche <i>Callosobruchus maculatus</i>	24
Figure 13 : hôte présenté aux Femelle <i>A. calandrae</i>	26
Figure 14 : Fabrication du système artificiel.....	27
Figure 15 : Des œufs d' <i>A. calandrae</i> sur une gélule	29
Figure 16 : La durée moyenne (en minutes) des déférentes phases du comportement de ponte chez <i>A .calandrae</i>	32
Figure 17 : Fécondité moyenne d' <i>Anisopteromalus calandrae</i> en fonction de l'âge des Femelles.....	33
Figure 18 : Le nombre moyen quotidien de descendants en fonction de la densité en hôtes sur la durée de ponte des femelles	35
Figure 19 : Sex-ratio des femelles en fonction de la densité d'hôte	36
Figure 20 : Variation des effectifs moyens des bruches émergées en fonction de la densité des parasitoïdes introduits.	37
Figure 21 : Variation du taux de réduction des bruches en fonction de la densité des femelles parasitoïdes introduites, trois semaines après introduction.	37
Figure 22 : Variation du taux de parasitisme en fonction de la densité des femelles parasitoïdes introduites, trois semaines ; après introduction.	38
Figure 23 : Variation du la mortalité induite par les parasitoïdes en fonction de la densité des femelles parasitoïdes.....	39
Figure 24 : Comportement de ponte des femelles d' <i>A.calandrae</i>	40

Liste des tableaux

Tableau I: Descendance journalière et sex-ratio des femelles en fonction de la densité d'hôtes disponibles	34
Tableau II: Effectif et sex-ratio des parasitoïdes émergents en fonction des densités des parasitoïdes introduits.	40

Liste des abréviations

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

OMS : Organisation Mondiale De La Santé

OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Économiques

OILB : Organisation Internationale De La Lutte Biologique

PIM : Mortalité Induite Des Parasitoïdes

% : Pourcentage

F : Femelle

M : Mâle

T : Témoin

J : Jours

D : Densité

Introduction Générale

Introduction Générale

La sécurité alimentaire, définie par la **FAO** comme l'accès physique, social et économique à une nourriture suffisante, sûre et nutritive, et essentielle pour répondre aux besoins alimentaires mondiaux de manière durable. La sécurité alimentaire repose sur les aspects d'accessibilité, de disponibilité et d'utilisation de la nourriture, tout en mettant l'accent sur la durabilité des pratiques alimentaires. Cependant, des défis persistent, notamment dans les pays en développement où les techniques modernes de stockage ne sont pas largement adoptées (**FAO., 2012**).

Les légumineuses, comme le niébé (*Vigna unguiculata*), jouent un rôle crucial dans la lutte contre la malnutrition en fournissant des protéines essentielles. Malheureusement, ces cultures sont souvent attaquées par des ravageurs tels que la bruche du niébé (*C. maculatus*), un insecte qui provoque d'importantes pertes dans les champs et dans les stocks post-récolte. Les larves de ces coléoptères se développent exclusivement dans les graines de légumineuses, compromettant ainsi la sécurité alimentaire en réduisant la disponibilité et la qualité des protéines essentielles pour de nombreuses communautés vulnérables.

La lutte traditionnelle contre les insectes ravageurs a principalement reposé sur l'utilisation de produits chimiques. Cependant, l'usage excessif de ces pesticides a conduit à l'émergence d'insectes résistants et a eu des conséquences néfastes, notamment sur la biodiversité. De nombreux organismes bénéfiques tels que les décomposeurs essentiels à la formation de l'humus et aux cycles biogéochimiques ont été détruits, ainsi que des parasites, prédateurs et des insectes pollinisateurs utiles (**Amévoïn., 1998, Kellouche ., 2005 , Camara ., 2009 ,Benkhellat ., 2016**). De plus, les insecticides synthétiques posent des risques pour la santé des utilisateurs, des consommateurs et pour l'environnement. Face à ces défis, la méthode traditionnelle de lutte chimique cède progressivement la place à des approches telles que la lutte biologique et la lutte intégrée. La lutte biologique, utilisant des insectes parasitoïdes, se révèle être une alternative efficace pour protéger les cultures, les denrées alimentaires et les semences (**Boivin., 2001**). En résumé, la lutte biologique représente une solution respectueuse de l'environnement pour préserver les stocks de légumineuses tout en garantissant la sécurité alimentaire à long terme. Intégrer des pratiques de lutte biologique et de conservation de la biodiversité dans les stratégies de gestion des stocks alimentaires peut aider à minimiser ces pertes et à garantir un accès durable à une alimentation nutritive pour tous.

Introduction Générale

Les parasitoïdes sont parmi les agents de contrôle biologique potentiellement efficaces pour réguler les populations de ravageurs. Ils possèdent une bonne capacité de dispersion et de découverte de l'hôte, leurs emplois ne nuit pas à la santé du consommateur et de l'utilisateur, ils respectent l'environnement et ils ont une grande spécificité vis-à-vis de l'hôte (**Boivin, 2001**).

Dans les stocks de graines, un cortège parasitaire accompagne les populations de bruches, il est constitué essentiellement d'*A. calandrae* (**Howard, 1881**). Cet hyménoptère est un ectoparasitoïde solitaire qui se nourrit des larves et nymphes de *C. maculatus* (**Benkhellat, 2016**). Les entrepôts de stockage constituent des écosystèmes relativement clos où les populations de ce parasitoïde connaissent des fluctuations importantes, pouvant entraîner une compétition intraspécifique. Ainsi, il est recommandé d'étudier la communauté des parasitoïdes afin de comprendre les effets de cette compétition sur l'accès aux hôtes, avant de considérer des programmes d'introduction de nouveaux parasitoïdes (**Wajnberg et Ris, 2007 in Thanh manh, 2003**).

Ce travail utilise des ennemis naturels pour contribuer à la conservation des gaines de niébé stockées. L'objectif principal est d'évaluer l'efficacité du parasitoïde *Anisopteromalus calandrae* contre les populations du *C. maculatus*. Notre étude s'est concentrée d'abord sur l'étude de comportement de ponte et l'activité parasitaire chez les parasitoïdes de l'espèce. En suite nous avons examiné l'influence de la compétition entre le nombre des femelles *Anisopteromalus calandrae* sur la descendance. Enfin, nous avons réalisé un essai de contrôle des populations de bruches dans des conditions contrôlées.

Ce mémoire est subdivisé en trois chapitres : Le premier chapitre commence par une synthèse bibliographique présentée en deux parties, La première partie aborde des généralités sur les légumineuses et les différentes méthodes de lutte contre les prédateurs des stocks, mettant l'accent sur les parasitoïdes. La deuxième partie, traite le système tritrophique étudié comprenant la plante hôte, *Vigna unguiculata* (Niébé), le phytophage (l'hôte), le coléoptère bruchidae *C. maculatus* (Fab), ainsi que l'hyménoptère parasitoïde *A. calandrae*.

Introduction Générale

Le deuxième chapitre détaille le matériel et les méthodes utilisées au laboratoire. Le dernier chapitre est consacré à la présentation des discussions aux résultats.

Et nous clôturons ce travail par une conclusion générale et perspective.

Chapitre I
Synthèse Bibliographique

PREMIERE PARTIE : Les légumineuses et les moyens de lutte utilisés contre les ravageurs

I.1. Les légumineuses

Les *Fabaceae*, également appelées légumineuses, font partie des Angiospermes et des *Eudicotylédones*. Les *Fabales* (Judd et al., 2001), qui sont les sœurs des *Polygalaceae*, sont des espèces appartenant à la famille des légumineuses, qui produisent des graines comestibles utilisées dans l'alimentation humaine et animale depuis des milliers d'années (FAO, 2016). On les trouve dans les familles des *Quillajaceae* et des *Surianaceae*, c'est la troisième famille des *Angiospermes* en nombre d'espèces (après les *Orchidaceae* et les *Asteraceae*) (Cronk et al., 2006) et la deuxième famille des *Angiospermes* après les *Poacées* (graminées), pour les pâturages d'intérêt agricole, qui comprennent la Canne-à sucre et les céréales telles que le maïs, le riz, le blé, l'orge, l'avoine, le seigle et le millet (Young et al., 2003).

I.1.1.L'importance des légumineuses

Les légumineuses à grains (haricot, niébé, pois chiche, fève,...) ont un grand potentiel pour atténuer la faim et la malnutrition avec un apport en protéines végétales pour les populations pauvres en ressources des pays en voie de développement ainsi qu'à l'alimentation animale comme le soja et la luzerne. En outre, les légumineuses à grains possèdent des bactéries symbiotiques fixatrices d'azote dans les nodules des racines.

Elles sont aussi une source importante d'huiles végétales (*arachide*), citons le haricot (*Phaseolus vulgaris*) en Amérique Latine, le pois chiche (*Cicer arietinum*), la lentille (*Lens culinaris*) et la fève (*Vicia faba*) dans le bassin méditerranéen, le soja (*Glycine max*) en Asie sans oublier l'arachide (*Arachis hypogea*) et le pois (*Pisum sativum*) à travers tous les continents (Maphosa et Jideani, 2017; Schneider et Huyghe, 2015). La principale légumineuse à grains, notamment le pois chiche et niébé, considérable à l'échelle mondiale constitue des éléments importants des régimes alimentaires pour les peuples végétariens et non végétariens.

I.2. Les Méthodes de stockage de grains de légumineuse

I.2.1. Stockage traditionnel

Le stockage dans les silos souterrains (Matmoura) : Les agriculteurs algériens, sur les hauts plateaux, protégeaient avec difficulté les récoltes de leurs champs d'orge et de blé

dans des enceintes creusées de trous cylindriques ou rectangulaires, construits dans des zones sèches, en sol stable, généralement argileux, où le niveau de la nappe phréatique est suffisamment bas, C'est ce que l'on appelle (matmoura). Dans un endroit surveillé ou à proximité de la ferme, la capacité de ces espaces de stockage varie, allant de quelques mètres cubes (**Doumaindji et al ., 1989**). Il s'agit d'une méthode employée dans divers pays d'Afrique, du Proche-Orient et d'Asie (**Bartali, 1990**).

I.2.2. Stockage en sac

Le sac de stockage a disparu complètement dans les pays développés, mais il est toujours employé dans les pays en développement. Pour les semences, les grains sont stockés dans des sacs en toile de jute ou en polypropylène. Les sacs sont accumulés dans différents endroits, magasins ou hangars. Fréquemment, ce genre de stockage est temporaire, utilisé lorsque la production est élevée et que les locaux de grande capacité sont saturés, (**Doumaindji et al., 2003**).

I.2.3. Stockage en vrac

Les graines sont stockées en vrac dans des silos, des hangars ou dans d'autres structures. Cette méthode est courante dans les pays développés mais encore rare dans les pays en développement en raison du manque de transports spécialisés et des structures adaptées.

En Algérie, seuls l'Office national interprofessionnel des céréales (OAIC) et quelques entreprises privées disposent de structures conformes aux normes. Le contrôle et la surveillance des produits en sac sont complexes, tandis que le stockage en vrac facilite ces opérations (**Benlameur, 2016**).

I.3. Les dégâts causés par les ravageurs durant le stockage

Chaque année, les légumineuses subissent des pertes importantes de l'ordre de 800 g/kg de graines en quelques mois (**Ouedrago et al.,1996 in Mounsi et Slamani ,2017**). **L'ampleur** des dégâts dépend de l'infestation initiale, de sa durée et de la méthode de stockage. Les plus grands dégâts causés par les bruches sur le niébé et le pois chiche ont été observés en Afrique et en Amérique (**Fleurat-lessard, 1980 in Mounsi et Slamani ,2017**). Les bruches provoquent des pertes annuelles pouvant atteindre jusqu'à 100 % des stocks dans certaines régions d'Afrique (**Lienard et Seck ,1993 in Mounsi et Slamani ,2017**). L'infestation par ces insectes entraîne l'apparition de facteurs antinutritionnels tels que

l'acide phytique, l'inhibition de l'activité trypsine et de l'acide urique (**Ali et Muzquiz, 1998 in Mounsi et Slamani ,2017**) ainsi que des changements dans la composition en vitamines et une augmentation de la cellulose (**Martin- Cabreja et al., 1995, Huis et Rooy, 1998 in Mounsi et Slamani ,2017**). En conséquence, le poids des graines diminue (**Gueguen et Cerletti, 1994**) et les changements dans la qualité des protéines rendent les graines impropres à la consommation humaine (**Keita et al., 2001 in Mounsi et Slamani ,2017**)

I.4.Les ravageurs menaçant les stocks des légumineuses

Les insectes ravageurs, ainsi que différentes maladies virales et fongiques sont parmi les principaux éléments qui réduisent la production mondiale des légumineuses telles que le soja et l'arachide, et le niébé (**Pollet, 1995 in Mounsi et Slamani ,2017**). À travers le monde, différents ennemis attaquent les produits stockés. Ils sont répartis en trois groupes principaux (**FAO, 2009**).

I.4.1.Les oiseaux

Les grains stockés peuvent être endommagés par les oiseaux tels que : les moineaux, les tourterelles, les pigeons et parfois étourneaux (**Berhaut et al ., 2003**).

Ces ravageurs provoquent des pertes quantitatives, en prélevant des graines et des **pertes** qualitatives en contaminant les stocks avec leurs fientes, plumes et cadavres, ou avec les débris végétaux utilisés pour la construction des nids (**Berhaut et al., 2003**). Ces problèmes sont souvent liés à un manque d'entretien des locaux et des espaces des stockages extérieurs (**Bell, 2000**).

I.4.2.Les rongeurs

Les rongeurs responsables de la destruction des stocks sont le rat gris, le rat noir et la souris. Ils causent des pertes en consommant du grain, et en contaminant les denrées. Ces animaux transmettent aussi des maladies à l'homme (**Groot,2004**).

Les rongeurs causent des dommages importants aux cultures et aux produits stockés, et en percent le matériel d'emballage, ce qui entraîne des pertes. Les sacs en jute peuvent être sérieusement endommagés. Les aliments en vrac sont moins vulnérables car les rats ne peuvent en dévorer que la surface (**Berhaut et al., 2003**).

I.4.3. Les Microorganismes des grains

Les bactéries, les levures et les moisissures, qui sont les microorganismes les plus difficiles à repérer dans les céréales stockées, car elles sont beaucoup moins visibles. Leurs spores sont toujours présentes à la surface des grains. Ces microorganismes se développent dès que les conditions de température et d'humidité sont favorables et envahissent progressivement le grain. Selon **(Coraf, 2007)**. Les conditions climatiques en régions tropicales, en particulier en zones humides, sont extrêmement propices à la prolifération de ces micro-organismes.

I.4.4. Les arthropodes

Les acariens sont les arthropodes les plus couramment présents dans les stocks de légumineuse, en dehors des insectes. Ils se manifestent sous forme d'agrégats semblables à une poussière vivante **(Fleurat-Lessard, 1982)**. Ces acariens sont principalement attirés par les moisissures dont ils se nourrissent. Ils ne constituent qu'un danger comparable à celui des moisissures.

Les acariens sont particulièrement attirés par les substrats contenant des lipides, ce qui leur permet d'attaquer et de réduire la valeur des grains stockés tout en conservant leur apparence extérieure normale.

I.5. Les moyens de lutte contre les ravageurs

I.5.1. Lutte physique

La sensibilité des ravageurs aux conditions environnementales telles que la température, les radiations et les gaz inertes est ciblée pour leur contrôle. Des études ont démontré que la désinsectisation par les rayons gamma, à des doses élevées, entraîne la mort de tous les stades de développement de l'insecte **(Diop et al, 1997 in Mounsi et Slamani ,2017)**. En revanche, une exposition à des doses faibles provoque leur stérilité **(Dongret et al, 1997 in Mounsi et Slamani ,2017)**.

Selon **Gwinner et al. (1996)**, la plage optimale de développement des insectes ravageurs des denrées stockées se situe généralement entre 25 et 35°C. En dehors de cette plage, leur capacité de reproduction est interrompue. De plus, à des températures inférieures à 5°C et supérieures à 45°C, la majorité des individus meurent **(Lee et al, 1993)**. Il est possible de conserver les graines pendant trois mois à une température de 5°C **(Singh et Jakail, 1985 in Benkhellat, 2016)**.

I.5.2. Lutte chimique.

La lutte chimique est reconnue comme efficace pour protéger les stocks contre les ravageurs (**Fleurat-leussard, 1978**). Cependant, son utilisation est limitée par plusieurs contraintes, notamment :

- La pollution des différents habitats.
- Le développement de la résistance chez les insectes.

Les effets des insecticides sur les ressources naturelles, comme le sol et l'eau, doivent être étudiés, et les espèces non ciblées doivent être protégées contre les effets nocifs des résidus d'insecticides (**OMS, 2009**).

I.5.3. Utilisation d'extraits végétaux et les huiles essentielles

L'utilisation d'extraits végétaux tels que les huiles ou les poudres s'avère efficace pour empêcher les bruches de pondre leurs œufs sur les graines et/ou pour éliminer les œufs fraîchement pondus ou les adultes (**Okonkwo et Okoye, 1992 ; Uvah et Ishaya, 1992 ; Nuto, 1995**). Ces dernières années, les huiles essentielles de plantes ont été largement étudiées comme moyen de régulation des ravageurs. Leur utilisation dans la protection des stocks a été l'objet de nombreuses recherches. Leur toxicité se manifeste de différentes manières, notamment par des activités ovicides, larvicides, antinutritionnels et inhalatoires (**Kéïta et al., 2000 ; Regnault-Roger, 2002**).

I.5.4. La lutte biologique

De nombreuses organisations telles que la **FAO**, l'**OMS** et l'**OCDE** ont proposé différentes définitions de la lutte biologique, mais ces définitions présentent des disparités significatives en fonction de leur utilisation.

Selon la définition adoptée par l'Organisation internationale de lutte biologique (OILB), l'utilisation par l'homme d'ennemis naturels tels que les prédateurs, les parasitoïdes ou les agents pathogènes permet de contrôler des populations d'espèces nuisibles et de les maintenir en dessous d'un seuil de nuisibilité. (**Debach, 1964 in Jaloux, 2004**)

I.6. Les différentes stratégies de lutte biologique dans les stocks

Selon les modalités d'utilisation, on reconnaît trois méthodes principales de lutte biologique : par introduction, augmentation ou conservation (**Van Driesche et Bellows, 1996 ; Amevoin, 1998 ; Boivin 2001 in Benkhellat, 2016**).

I.6.1. La lutte biologique par introduction (ou classique)

Cette technique consiste à introduire une nouvelle espèce dans un environnement afin de contrôler les populations d'un ravageur). La plupart du temps, cette approche vise à limiter les populations d'un ravageur exotique en introduisant un ennemi naturel provenant de la zone de distribution originale de ce ravageur (**Pedigo, 1996 ; Boivin, 2001 in Touati, 2019**).

I.6.2. La lutte biologique par augmentation

Recouvre les stratégies d'augmentation par inoculation (Inoculative biological control) et par inondation (Inundative biological control). Ces stratégies consistent à relâcher des auxiliaires dans des environnements où les populations sont absentes ou trop faibles pour assurer un contrôle suffisant (ex. dans des environnements clos comme les serres) (**Anonyme, 2019**).

I.6.3. La lutte biologique par conservation

Est la technique qui a donné les résultats les plus spectaculaires. Elle consiste à agir sur l'environnement dans le but d'augmenter l'impact des ennemis naturels indigènes sur les populations de ravageurs autochtones. (**Amevoin, 1998 in Benkhellat, 2016**).

I.7. La lutte biologique

Définition

Selon l'organisation internationale de la lutte biologique (**OILB, 1971 in Touati, 2019**), « La lutte biologique est l'utilisation d'organismes vivants ou de leurs produits pour prévenir ou réduire les dégâts causés par les ravageurs aux productions végétales ».

La lutte biologique est actuellement la méthode la plus privilégiée dans les programmes de recherche en raison de ses intérêts économiques et agro-environnementaux favorisant le maintien d'un équilibre bioécologique. Elle utilise des organismes vivants pour réduire les niveaux de population d'autres organismes, généralement nuisibles. Les ennemis

naturels les plus fréquemment utilisés en lutte biologique sont les microorganismes, les nématodes, les prédateurs et les parasitoïdes. (Boivin, 2001 in Benkhellat, 2016).

I.7.1. Les organismes utilisées en lutte biologique dans les stocks

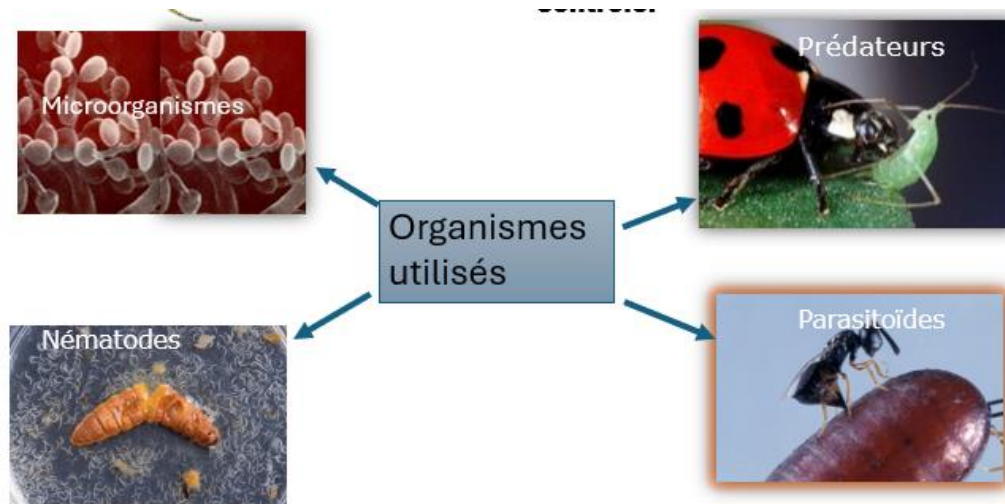


Figure 1 : Les organismes utilisée en lutte biologique dans les stocks (Benkhellat, communication personnelle)

Dans les stocks, la lutte biologique utilise des insectes prédateurs, des micro-organismes et des parasitoïdes. L'emploi de ces derniers présente de nombreux avantages : ils possèdent une excellente capacité de dispersion et de découverte de l'hôte, une grande capacité à s'installer dans un environnement spécifique, ils sont très sûrs pour la santé des utilisateurs et des consommateurs respectueux de l'environnement et présentent, pour la plupart, une grande polyvalence (Cloutier et Cloutier en 1992 in Thanh manh ,2003).

I.7.1.1. Les insectes parasitoïdes

Les insectes parasitoïdes sont des êtres vivants dont les larves croissent en consommant les tissus d'autres arthropodes, leurs hôtes, principalement des insectes. Ce processus de développement conduit généralement à la mort de l'hôte (Egalaton et Gaston, 1990 in Touati, 2019).

D'après les observations de Dout en 1959 in Jaloux, 2004, les parasitoïdes se distinguent par les caractéristiques suivantes :

- Ils se développent exclusivement aux dépens d'un seul hôte, souvent au détriment de ce dernier.

- Seules les étapes immatures sont parasitaires, les adultes étant libres.
- Le parasitoïde en développement reste spécifique à son hôte initial et ne peut pas en changer.
- Habituellement, l'hôte appartient à la même classification taxonomique.
- Les parasitoïdes et leurs hôtes présentent souvent des dimensions corporelles similaires.
- L'impact des parasitoïdes sur la dynamique des populations hôtes est souvent plus comparable à celui d'un prédateur qu'à celui d'un parasite classique.

I.7.1.2. Taxonomie et mode de vie des parasitoïdes

Les hyménoptères parasitoïdes peuvent être classés en plusieurs sous-catégories selon leur mode de vie :

- Les espèces qui déposent leurs œufs à l'intérieur des hôtes et se développent à l'intérieur même de ceux-ci sont appelées **endoparasitoïdes**, tandis que celles qui se développent à la surface ou à proximité de l'hôte sont désignées sous le terme **d'ectoparasitoïdes**.
- Les parasitoïdes qui permettent à leur hôte de continuer à se développer après la ponte sont appelés **koïnobiontes**, tandis que ceux qui tuent ou paralysent définitivement leur hôte dès la ponte sont nommés **idiobiontes**.
- Les parasitoïdes **proovigéniques** sont caractérisés par le fait que les femelles émergent avec un stock d'œufs matures, tandis que chez les parasitoïdes **synovigéniques**, les femelles émergent avec un nombre limité d'œufs et en produisent continuellement tout au long de leur vie. Pour ces derniers, la maturation des œufs requiert une source supplémentaire de protéines.

I.8. La compétition chez les parasitoïdes

Chez les parasitoïdes, contrairement aux prédateurs, l'hôte (= proie) reste disponible pour des compétiteurs qui peuvent tenter à leur tour de le parasiter. La présence de plusieurs individus sur un même hôte va induire une compétition. Deux principaux mécanismes de compétition existent chez les parasitoïdes (**Mohamed, 2012**)

La compétition par interférence (directe): Lorsque plusieurs femelles exploitent simultanément le même patch, elles peuvent interférer les unes avec les autres par des combats physiques. L'interférence chez les parasitoïdes est une diminution de l'efficacité de recherche en relation avec la densité des parasitoïdes (**Goubault, 2003**).

La compétition par exploitation (indirecte): elle se produit lorsque les individus n'interagissent pas directement entre eux (**Krebs et Davies, 1993 in Touati, 2019**). Lors de l'exploitation du patch, chaque individu diminue la quantité des ressources disponibles pour les autres du simple fait de son exploitation

Cette compétition est exacerbée chez les espèces solitaires, puisqu'une seule larve, au mieux, peut effectuer son développement complet sur un hôte. La ponte sur un hôte déjà parasité entraîne alors l'élimination des individus surnuméraires lors des combats larvaires et/ou par suppression physiologique (Le superparasitisme et le multiparasitisme peuvent donc être à l'origine de la perte d'une partie de la descendance. (**Benkhellat ; 2016**) (**Figure 2**))

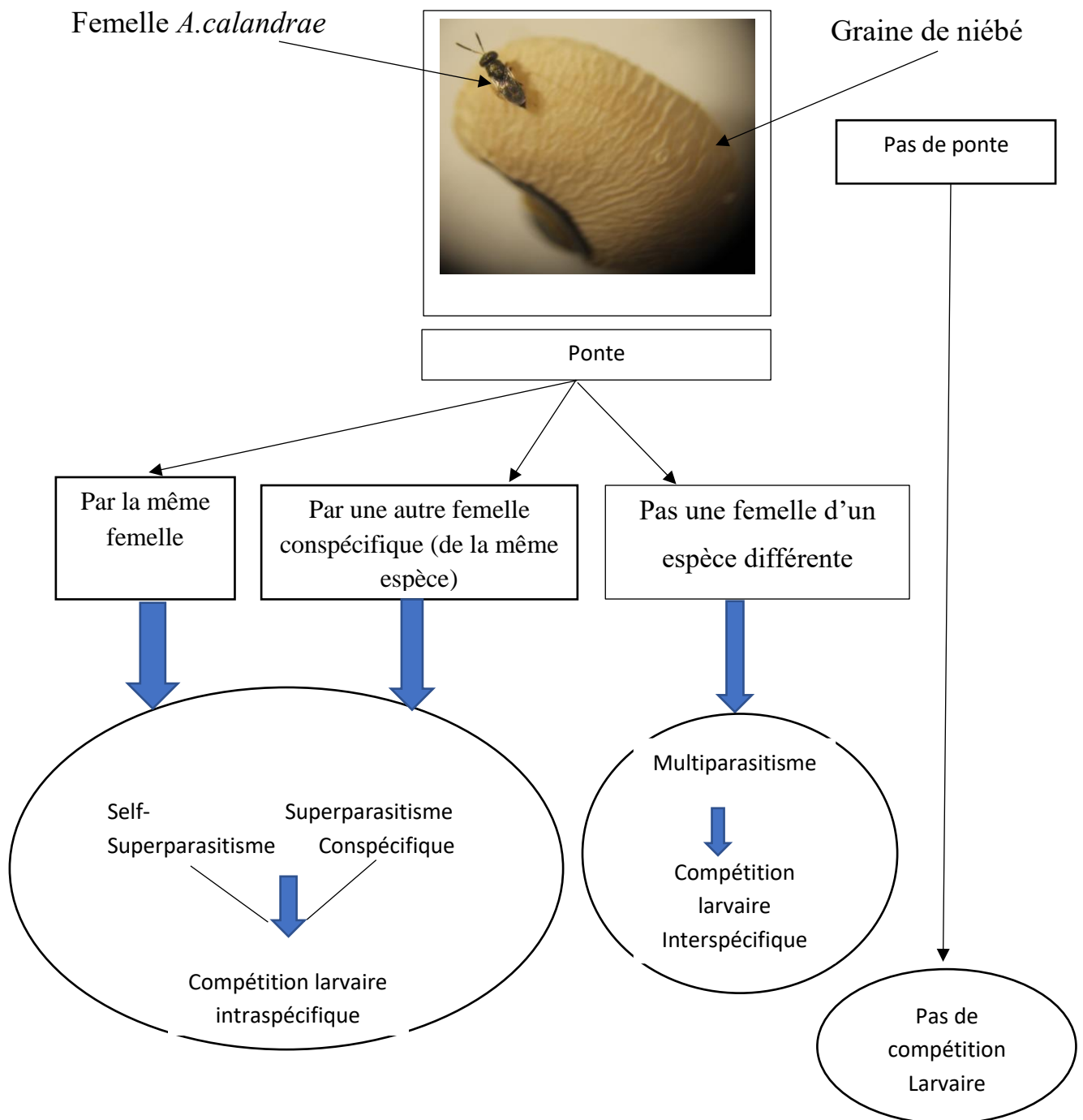


Figure 2: Caractéristique de choix de ponte d'une femelle d'une espèce solitaire. (Benkhellat, 2016)

DEUXIEME PARTIE : Présentation du système tri-trophique étudié

I.1. La description et La position systématique du niébé

Vigna unguiculata, communément appelé niébé (haricot dolique), est une plante annuelle, herbacée, autogame, présentant une grande diversité de formes et de physiologies, avec des variétés à port rampant, semi rampant ou érigé. L'inflorescence, de type grappe simple ou racème, est composée de fleurs de type corolle papilionacée, jaunes ou violacées. Le fruit est une gousse indéhiscente, longue de 7 à 15cm, renfermant 8 à 15 graines (Murdock, 1959 in Jaloux,2004).

La Position systématique : du niébé est la suivante : (Singh et Rachie, 1985 in Benkhellet ,2016)

Famille : Légumineuse

Sous-famille : Fabaceae

Tribu : Phaseoleae

Sous-tribu : Phaseolinae

Genre : *Vigna*

Espèce : *Vigna unguiculata* (Walp)

Cette légumineuse alimentaire, cultivée dans la plupart des régions tropicales et subtropicales, jusqu'au bassin méditerranéen depuis 5000 avant JC. Néanmoins, l'Afrique de l'ouest est le principal producteur du niébé dans le monde les surfaces cultivées du niébé sont estimées à 10.4 millions d'hectares dont 92% en Afrique de l'ouest. La production mondiale du niébé est estimée à 3.6 million de tonnes de grains secs dont 84% en Afrique de l'ouest (F.A.O. 2006).

En Afrique de l'ouest, il existe toujours des formes sauvages de *V. unguiculata*, les sous espèces *dekindtiana* et *mensensis*, ancêtres des variétés cultivées.

La variété Black-Eyes California, utilisée pour les élevages comme pour les expérimentations est la plus répandue dans la zone principale de culture en Afrique de l'Ouest.

En Algérie, cette espèce est traditionnellement cultivée dans les régions montagneuses principalement pour l'autoconsommation. Liée aux anciennes cultures berbères, elle n'est désormais cultivée que sur des superficies très restreintes, souvent dans les jardins ce qui pourrait entraîner sa disparition totale à long terme (**Ghalmi et al, 2004**).



Figure 3 : Plante de niébé (**Mounsi et Slamani,2017**)



Figure 4 : Graines de niébé (**photographie, 2024**)

I.2. Les valeurs alimentaires et l'intérêt agronomique

Le niébé *Vigna unguiculata*, joue un rôle essentiel dans la plupart des communautés africaines où il est cultivé Ndiaye (2007). Selon **Jakai et Adalla (1997)**, c'est la plante vivrière la plus importante et la plus répandue dans les régions d'Afrique tropicale. D'après **Gomez C (2004)**, l'Afrique est un leader dans la production du niébé avec près de 68 %, suivie du Brésil avec 17 %, de l'Asie avec 3 %, des États-Unis d'Amérique avec 2 % et du reste du monde avec 10 %.

En Swaziland (Afrique), *Vigna unguiculata* ; joue un rôle essentiel dans l'alimentation des populations rurales et urbaines, et est souvent consommées-en complément des aliments riches en amidon.

Dans d'autres pays, les grains de niébé sont utilisés pour enrichir les céréales, car ils apportent des acides aminés et améliorent la qualité des protéines (**Bressani, R, 1985**). Elles pourraient être considérées comme la principale légumineuse alimentaire.

Selon **Boukar et al. (2013)**, le niébé pourrait être considéré comme la légumineuse alimentaire la plus importante.

La culture de *Vigna unguiculata* est exposée à plus de 140 virus, dont environ 20 sont considérés comme étant largement répandus (**Hampton et Thottappilly, 2003**). De la même manière, le foin de niébé constitue une source d'alimentation équilibrée pour le bétail (**Singh et al., 2003**). De plus, il est également possible de combiner le niébé avec le maïs dans un système de rotation des cultures (**Dahmardeh et al., 2009**).

I.2. Le phytophage (hôte) : *Callosobruchus maculatus*

I.2.1. Description morphologique et position systématique

Callosobruchus maculatus est une espèce de coléoptères *bruchidés* de petite taille (2,8 à 3,5 mm). La tête est de couleur noire, les antennes et le pronotum sont d'un rouge clair ou brun clair. Selon (**Balachowsky, 1962 in Mounsi et Slamani, 2017**), les mâles ont des antennes noires avec les quatre premiers articles roux, tandis que les femelles sont entièrement rouges. La femelle, plus grande que le mâle, se caractérise par la couleur et les motifs des élytres et du pygidium. Deux morphes imaginaux de *C. maculatus* sont présents : une forme non-voilière à haute fécondité, adaptée aux conditions des stocks, et une forme voilière à faible fécondité, responsable de l'infestation dans les cultures (**Utida, 1954 in Jaloux, 2004**).

Cette espèce a une grande aire de répartition en Afrique. Avec l'augmentation du trafic international des graines de légumineuses dans de nombreuses régions subsahariennes de l'Afrique de l'ouest, elle est devenue un ravageur mondial (**Fleurat Lessard, 1980 ; Caswell, 1981 ; Ridet 1992 in Mounsi et Slamani, 2017**). L'espèce de bruche *C. maculatus* est l'espèce qui cause le plus de dégâts dans les stocks de Niébé (**Jackai et Daoust, 1986 ; Monge et Germain, 1988 in Mounsi et Slamani, 2017**).



Figure 5 : Adultes de l'espèce *Callosobruchus maculatus* obtenus sur graines de niébé au laboratoire, **a)** Mâle **b)** Femelle (grossissement x 20) (**Jaloux, 2004 in Benkhellat, 2016**)

La position Systématique : la bruche de niébé , D'après **Balachowsky (1962) in Mounsi et Slamani,2017** , appartient :

Règne : Animal

Embranchement : Arthropodes

Classe : Insectes

Ordre : Coléoptères

Sous ordre : Hétérogastra

Famille : Bruchidae

Genre : *Callosobruchus*

Espèce : *Callosobruchus maculatus (Fabricius)*.

I.2.2. Stades de développement

D'après **Ouedraogo (1978 in Jaloux,2004)** , le développement de *C.maculatus* est comparable avec celui de la plupart des *Bruchidae*, il passe généralement par les stades suivants :

- L'œuf :

Il est asymétrique et a deux extrémités, dont une arrondie correspond au pôle avant. À ce stade, on observe la présence d'une protubérance connue sous le nom de « tube respiratoire » ou « funnel » (**Wightman et Southgate, 1982 ; Credland, 1992 in Ilboudo,2009**), qui contribuerait aux échanges entre l'environnement extérieur et l'intérieur de l'œuf. Le pôle antérieur correspond à l'autre extrémité subconique. L'œuf est blanchâtre et se fixe à la graine grâce à un liquide émis par la femelle lors de l'expulsion de l'œuf (l'incubation de l'œuf dure 3 à 5 jours et conduit à la formation de la larve néonatale).

-Le premier stade de la larve (larve néonate ou L1) :

Il s'agit d'une larve *chrysomélienne* qui se montre toujours à l'endroit où l'œuf est déposé. Trois paires de pattes fines non fonctionnelles et une plaque *prothoracique* sont présentes. Pendant 24 ou 48 heures, elle est conservée à l'intérieur du chorion, puis elle perfore le tégument de la graine en creusant une galerie dans l'épaisseur du cotylédon. Elle mue dès qu'elle entre dans la graine (**Ilboudo,2009**) .

-La larve de stade 2 (ou L2) :

Celle-ci est rynchophorien avec un corps blanchâtre. Une paire d'antennes articulées couvre la tête sclérifiée. Elle est dépourvue de pattes et de plaque prothoracique. Au fur et à mesure de sa croissance, elle continue de creuser la galerie et la développe en une première logette où la mue intervient (**Ilboudo , 2009**).

-La larve de stade 3 (ou L3) :

Son type est identique à celui du stade précédent. Elle poursuit l'extension de la galerie en une deuxième logette où elle grandit et se mue (**Ilboudo,2009**).

-La larve de stade 4 (ou L4) :

La taille de cette larve ne diffère pas des larves L2 et L3. Elle poursuit sa croissance en creusant une troisième logette qui lui confère une taille et une forme définitives, elle est couverte d'acide urique est arquée. Ce n'est qu'une membrane tégumentaire de la graine qui la sépare de l'extérieur. Il s'agit de la nymphose (**Ilboudo,2009**).

-La nymphe :

L'habitat de la nymphe est la logette nymphale aménagée par la L4. D'abord, elle est de couleur blanchâtre et non sclérifiée. Dans un second temps, les organes se sclérifient progressivement jusqu'à l'imago. Il demeure à l'intérieur de ce logement pendant 24 ou 48 heures avant d'apparaître (**Ilboudo,2009**).



Figure 6 : Les stades larvaires, nymphaux et imaginaux de *C. maculatusn* (photographie originale,2024)

I.2.3. Le cycle de développement

La femelle de *C. maculatus* pond sur des gousses mûres ou directement sur les graines de niébé après l'accouplement. L'œuf translucide (environ 0,6 x 0,3 mm) présente une forme ovoïde et sa face fixée au substrat est aplatie. Sur les quatre premiers jours de l'infestation, 96% des œufs sont pondus (Moumouni *et al*, 2013).

Une fois l'éclosion terminée, le premier stade larvaire traverse le chorion du côté proche du végétal, puis le tégument de la graine, en utilisant ses mandibules, et pénètre à l'intérieur en rejetant des fragments de tégument et de cotylédon à l'intérieur du chorion vide qui prend une teinte blanchâtre. Les larves utilisent uniquement les graines sèches du niébé comme support de croissance et principale ressource alimentaire (Beck et Blumer, 2014).

Le développement larvaire comprend quatre stades au total Selon Viaud (1983)in Sanon(1997), le développement larvaire dure environ 20 jours, et la durée totale du cycle varie de 30 à 35 jours pour les graines en stockage. Les adultes ont une durée de vie comprise entre 10 et 14 jours dans le stock, période pendant laquelle ils peuvent survivre sans alimentation ni eau (Beck et Blumer, 2014).

La larve creuse une loge tapissée d'acide urique à la périphérie de la graine pour réaliser la nymphose et la métamorphose (Doury *et al*, 1995 ; Ouedraogo *et al*. 1996 in Mounsi et Slamani,2017). L'imago coupe un opercule circulaire dans le chorion et sort. La période de croissance, de la ponte à l'émergence, varie de 22 à 25 jours en fonction de la température.

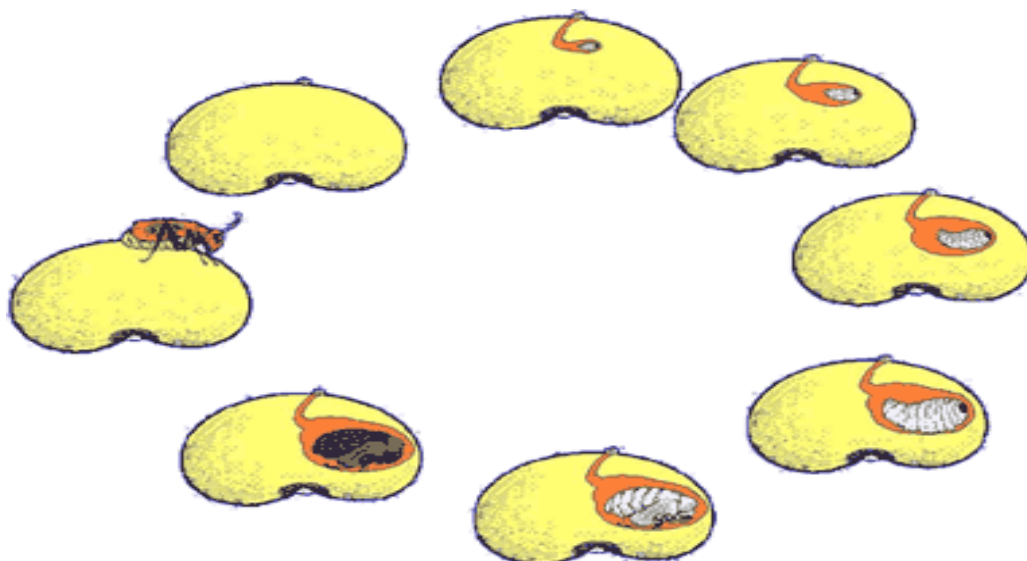


Figure 7 : Le cycle du développement de *Callosobruchus maculatus* (Messina, 1993 ; Fox, 1993 in Thanh Manh ,2013)

I.2.4. Les dégâts causés par *C. maculatus*

Les légumineuses sèches sont souvent attaquées par la bruche du niébé .L'infestation peut commencer dans les champs où les œufs sont déposés librement sur les gousses en formation. La phase larvaire est la principale responsable des dommages pouvant aller jusqu'à la moitié des légumineuses sont stockées. Il est possible de rompre le cycle d'infestation dans les champs en rotation des cultures, en évitant la culture d'un même type de culture dans le même champ pendant les saisons successives correspondant à un cycle d'infestation (Cephas, 2014 ; Rabia, 2004).



Figure 8 : Les Dégâts causée par *C.maculatus* (photographie originale,2024)

I.3. Le parasitoïde *Anisopteromalus calandrae*

I.3.1. Description

Anisopteromalus calandrae est un ectoparasitoïde solitaire idiobionte de plusieurs coléoptères granivores. Les adultes sont de couleur noir brillant. Ils présentent un dimorphisme sexuel pour la couleur de l'abdomen. Les mâles mesurent de 1,5 à 2 mm et son reconnaissables à la réserve séminale qui forme une poche claire à la base ventrale de l'abdomen. Les femelles mesurent entre 2 et 2,5 mm et leur abdomen est noir uniforme. (Islam et Nargis ,1994 in Benkhellat,2016)



Figure 9 : Mâle et femelle d'*Anisopteromalus calandrae* (*a* : femelle ; *b* : mâle), (Do thi khanh,2005) in (Benkhelatte,2016)

I.3.2. La systématique

Anisopteromalus calandrae est un hyménoptère *pteromalidae* sa position systématique est la Suivante (Howard, 1881) :

Ordre : Hymenoptera

Sous-ordre : Apocrita

Super-famille : Chalcidoidea

Famille : Pteromalidae

Sous-famille : Pteromalinae

Genre : *Anisopteromalus*

I.3.3. Reproduction et cycle biologique

La femelle dépose un œuf translucide allongé sur l'hôte ou près de celui-ci (Arbogast et Mullen, 1990 in Mounsi et Slamani, 2017), L'œuf éclos entre 30 et 31 heures après la ponte. La larve de premier stade est mobile et se déplace à la surface de l'hôte à la recherche de larves compétitrices ou d'œufs d'autres parasitoïdes. Lorsque celle-ci rencontre un œuf, elle le détruit à l'aide de ses mandibules. Lorsqu'elle est confrontée à un compétiteur, il s'ensuit alors un combat conduisant à la mort d'une des deux larves. La larve se fixe ensuite à l'hôte et en consomme les tissus et l'hémolymphe jusqu'au huitième jour suivant l'éclosion où elle entre alors en nymphose. A ce stade, elle n'est plus fixée à l'hôte. Au jour 10 le parasitoïde commence à se colorer, tout d'abord à partir des yeux, puis la tête, le thorax et l'abdomen à partir du jour 13. Il est alors possible de différencier les mâles des femelles, ces dernières arborant déjà une couleur noire unie. *A. calandrae* est une espèce protandre : les mâles émergent plus tôt que les femelles. En effet, les mâles émergent après seulement 11 jours alors que les femelles n'émergent qu'après 12 jours en moyenne (Do Thi Khanh, 2005).

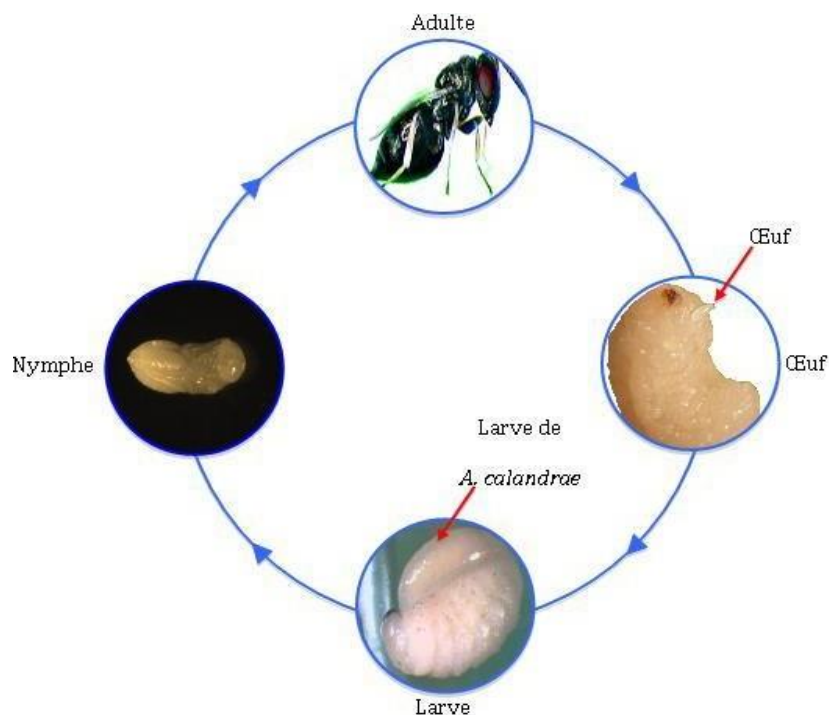


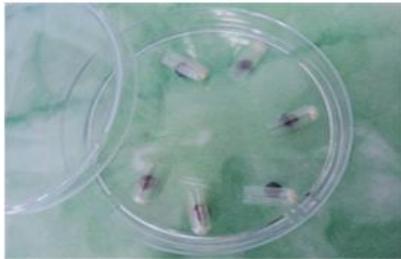
Figure 10 : Cycle du développement d'*Anisopteromalus calandrae* (Islam, 1993 in Thanh Manh ,2013)

Chapitre II
Matériel et Méthodes

II.1. Matériel biologique et expérimental :

Afin de mener notre étude, nous avons utilisé un système tritrophique composé de :

- ✓ La plante hôte: (Haricot dolique) *Vigna unguiculata*.
- ✓ Le phytophage hôte (les bruches) : *Callosobruchus maculatus* (fab).
- ✓ L'hyménoptère parasitoïde : *Anisopteromalus calandrae* Pour effectuer notre travail expérimental nous avons utilisé le matériel suivant :



Gélules fixées sur une boîte



La balance



Des graines fixées sur une boîte de pétri



Etuve réglée à 30 C°
Elvage d' *Callosobruchus maculatus*



Loupe binoculaire



Etuve réglée à 30 C° Elvage d' *Anisopteromalus calandrae*



Tamis



Gélules



Les Pincettes

Figure 11: le matériel utilisé

II.2. Protocoles expérimentaux

Les protocoles utilisés au cours de notre travail sont les mêmes protocoles suivis par : Benkhellat(2016), Bruno (2004), Slamani et Monsi (2017), Touati (2019).

II.2.1. Conditions d'élevage des insectes étudiés au laboratoire

II.2.1.1. Condition d'élevage des bruches

La souche de *Callosobruchus maculatus* utilisée pour nos expérimentations provient de Bejaia. Depuis 2017, elle est maintenue au laboratoire d'écologie et d'environnement sur des graines de niébé de la variété Haricot Kabyle (Haricot dolique) dans une étuve, sous des conditions de température et d'humidité relatives spécifiques. Les graines de niébé saines, importées de diverses origines, sont congelées avant utilisation pour éviter le développement d'autres espèces de phytophages et d'acariens entomophages nuisibles.

Une cinquantaine d'adultes mâles et femelles de *C. maculatus* sont placés dans des boîtes à demi remplies de graines. Dans ces conditions d'élevage, l'espèce est polyvoltine, et une génération se développe en environ 25 jours. 17 à 18 jours après la ponte, les graines sont tamisées pour éliminer les insectes morts et sont séparées en deux lots. Une partie des graines contenant des bruches aux stades L4 ou nymphe est prélevée pour les expériences et l'élevage de parasitoïdes, tandis que le reste des graines est replacé dans l'étuve jusqu'à l'émergence des adultes. Les bruches adultes issus de ce lot sont ensuite utilisés pour fournir une nouvelle génération d'hôtes.



Figure 12 : Elevage de bruche *Callosobruchus maculatus*

II.2.1.2. Protocole d'élevage des parasitoïdes

La souche *Anisopteromalus calandrae* étudiée, originaire de Bejaia ; a été développée à partir d'individus émergeant de graines de blé provenant des stocks de la direction des services agricoles.

Elle est maintenue au laboratoire sur des populations de bruches d'haricot dans des conditions comparables à celles du milieu naturel. Les stades préférentiels de *C. maculatus* pour les pontes des femelles d'*A. calandrae* sont des larves aux stades L4, prénymphe et nymphes (**Bellows, 1985**), qui sont de tailles importantes et facilement distinguables à l'aide d'une loupe binoculaire, sont atteints 18 jours après la ponte dans les conditions d'élevage.

Les hôtes ne sont exploitables par les femelles parasitoïdes que s'ils sont présentés à l'intérieur d'une loge. Durant nos expériences, nous avons utilisé des hôtes enfermés soit dans une loge naturelle creusée par la larve de *C. maculatus* dans une graine, soit dans une loge artificielle fabriquée à partir d'une gélule de type pharmaceutique.

Les parasitoïdes sont élevés dans les mêmes conditions d'élevage, sur des graines de niébé infestées par *Callosobruchus maculatus*. Une dizaine de couples d'*Anisopteromalus calandrae* sont introduits dans des boîtes en plastique contenant des graines infestées par des larves de bruches au stade L4, pré-nymphes et de nymphes. Les boîtes sont placées dans l'étuve réglée à 30 °C. Trois jours plus tard, on tamise et on retire les parasitoïdes pour les introduire dans d'autres boîtes contenant des hôtes. Les boîtes sont placées dans l'étuve aux mêmes conditions d'élevage (30 ± 1 °C et une humidité relative de 70 ± 10 %) jusqu'à l'émergence des adultes. Dans ces conditions, une génération d'*A. calandrae* se développe en 11 à 12 jours environ.

II.2.2. Hôtes présentés aux femelles parasitoïdes

Les stades préférentiels de *C. maculatus* pour les pontes de l'espèce sont des larves aux stades L4, prénymphe et nymphes (**Bellows, 1985 b, Heong, 1981**). Tous les stades présentés aux femelles étaient des prénymphe et des nymphes, Ces stades sont atteints 22 jours après la ponte dans les conditions d'élevage. Les hôtes ne sont exploitables par les femelles parasitoïdes que s'ils sont présentés à l'intérieur d'une loge. Durant nos expériences, nous avons utilisé des hôtes enfermés à l'intérieur d'une loge naturelle, creusée par la larve de *C. maculatus* dans une graine ou d'une loge artificielle fabriquée à partir d'une gélule de type pharmaceutique.

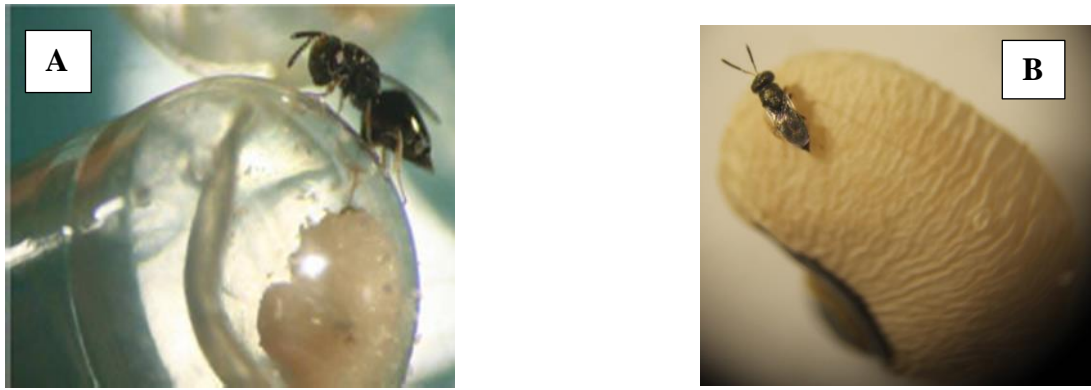


Figure 13 : hôte présenté aux Femelle *A. calandreae* ;(A : Sur système artificielle (gélule) B : sur graine)

II.2.2.1. Hôtes présentés dans les gélules

Nous avons utilisé un système de graines artificielles pour collecter des œufs de parasitoïdes et mener des expériences comportementales. Ces graines artificielles sont constituées de gélules transparentes en gélatine, dans lesquelles une larve de bruche est introduite à l'aide d'un piston afin de créer une loge nymphale. La gélule est percée de cinq trous dans le capuchon afin de favoriser les échanges gazeux et de faciliter l'insertion de l'ovipositeur du parasitoïde pour la ponte (**Figure 14**). Grâce à la transparence des gélules, on peut rapidement vérifier si une larve a été parasitée, ce qui permet de réutiliser les larves parasitées pour d'autres expériences comportementales. En outre, ce dispositif offre la possibilité de retirer ou de changer des éléments sans compromettre l'intégrité globale, Cela est très pratique lors de tests comportementaux afin d'évaluer l'influence de chaque élément sur le comportement des parasitoïdes . Il convient également de souligner que ce système n'a pas d'incidence sur le comportement de ponte des parasitoïdes, comme l'ont montré des travaux précédents (**Gauthier et Monge, 1988 ; Gauthier, 1996**).

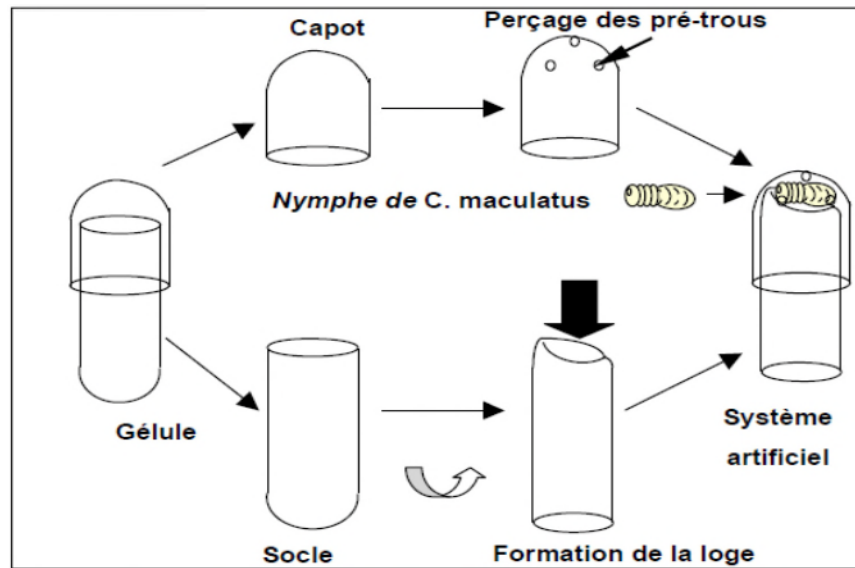


Figure 14 : Fabrication du système artificiel

II.2.2.2. Hôtes présentés dans les graines

Dans une boîte de Pétri, dix femelles de *Callosobruchus maculatus* sont placées dans une soixante-dix graines de niébé (*Vigna unguiculata*). La boîte est ensuite placée dans une étuve à une température de 30 °C pendant 4 heures. Après ce temps, les bruches sont retirés avec des pinces souples et la boîte est remise dans l'étuve pendant 18 jours. Lorsque les œufs de bruche sont devenus solides 4 jours après la ponte, seules les graines contenant 1 hôte et 2 hôtes sont utilisée pour les expériences de la compétition et teste de lutte. Les larves de bruches de stade L4 ou pré-nympe sont obtenues après 18 jours (Gauthier, 1996). Les graines sont ensuite placées au réfrigérateur à une température de 4 °C afin de stopper la croissance des larves et sont conservées pendant au moins 7 jours.

PREMIERE PARTIE : Comportement de ponte et activité parasitaire chez *A.calandrae*

II.1. Comportement de ponte des femelles

Des femelles isolées dès leur émergence sont individuellement placées dans des boîtes de Pétri en présence d'une graine infestée par des prénymphe ou nymphes de *C. maculatus*. Ces boîtes sont placées sous une loupe binoculaire pendant 30min équipée d'un dispositif vidéo constitué d'une caméra, permettant l'enregistrement du comportement des femelles. Les enregistrements sont ensuite visionnés pour analyser les différentes phases comportementales.

II.2. Activité de ponte

Dès leurs premières heures d'émergence, 33 couples isolés sont placés dans des boîtes de Pétri contenant des larves de *C.maculatus* en stade L4 (pré-nymphes) renfermées dans des gélules modifiées et fixées sur les boîtes pétris avec de la patafixe. Nous avons 2 lots :

- Lot A : une femelle avec 6 hôtes (11 couple)
- Lot B : deux femelles avec 6 hôtes (22 couple)

Les mâles sont retirés dès le deuxième jour de chaque boîte, un jour étant suffisant pour que l'accouplement ait lieu. Les boîtes de Pétri sont ensuite placées dans les conditions d'élevage. Nous avons utilisé le système artificiel des gélules car il permet de vérifier facilement si la ponte a eu lieu et de déterminer le nombre d'œufs pondus. Des gélules contenant des hôtes sont renouvelées quotidiennement pendant 6 jours consécutifs. Chaque jour de nouveaux hôtes sont présentés aux femelles. Les gélules retirées sont examinées à l'aide d'une loupe binoculaire. Le nombre d'œufs pondus sur les hôtes parasités est observé et enregistré chaque jour pour chaque femelle.

II.3. Fertilité et sex-ratio

Après avoir dénombré d'œufs déposés sur les gélules utilisées pour le test de fécondité, ces gélules sont remises dans l'étuve jusqu'à l'émergence des adultes. Nous avons compté le nombre d'adultes émergents pour chaque femelle chaque jour durant tout leur cycle de développement. Le sex-ratio est calculé en utilisant la formule suivante pour les descendants de chaque femelle :

$$\text{Le sex-ratio} = (\text{nombre de mâles émergents}) / (\text{nombre totale des descendants})$$



Figure 15 : Des œufs d'*A. calandrae* sur une gélule

DEUXIEME PARTIE : Influence du nombre des femelles d'*Anisopteromalus calandrae* sur la descendance

II.1. Préparation de femelle

Dès leurs émergences, les femelles sont mises avec des males dans une boîte contenant des graines infestées par des stades larve L4 et pré-nymphe. Les males sont retirés 24h plus tard. Les graines sont renouvelées quotidiennement pendant 3 jours successif, ceci jusqu'au jour de l'expérience.

II.1.1. Influence du nombre des femelles sur la descendance

Après la préparation de femelle, chaque femelle d'*A. calandrae* était placée dans une boîte pétri transparent contenant des graines pour former un patch de ponte. Chaque graine, contenant une ou deux larves de *C. maculatus* au stade larvaire L4 de 18 jours, a été utilisée pour constituer quatre groupes avec différentes densités d'hôtes :

- Le premier groupe (A) comprenait une seule femelle et 3 graines (1 hôte),
- Le deuxième groupe (B) incluait deux femelles avec 3 graines de 2 hôtes chaque 'une (6 hôtes),
- Le troisième groupe (C) comportait quatre femelles avec 5 graines contenant de deux hôtes et 2 graines d'un hôte (12 hôtes).
- Le quatrième groupe (D) était composé de six femelles avec 8 graines contenant de deux hôtes et deux graines d'un hôte (18 hôtes).

Les graines étaient fixées avec de la patafix. Chaque jour, les femelles étaient isolées et les graines de ponte renouvelées. Le 4ème et le 5ème jour de ponte étaient enregistrés et récupérées, pour être placées dans une étuve à 30°C.

II.1.2. Le nombre de descendants Le sex-ratio

Les graines parasitées par les femelles de parasitoïdes dans les boîtes de Pétri et on les maintient dans l'étuve a (30°C) en attendant l'apparition. Chaque jour, on enregistre le nombre de descendants émergés.

$$\text{Sex-ratio} = \frac{\Sigma\sigma}{\Sigma\varphi + \Sigma\sigma}$$

TROISIEMES PARTIE : Teste de lutte biologique

II.1. Réalisation du teste

- Afin de mener notre expérience, nous avons placé 250 graines de niébé infestées par des larves au stade L4 de *C. maculatus* dans des boîtes en plastique : 200 graines contenant une larve et 50 graines contenant deux larves, représentant un total de 250 hôtes.
- Chaque boîte a été équipée de 15, à 40 couples de parasitoïdes adultes pris en charge dès leur apparition.
- Trois répétitions ont été effectuées pour chaque lot.
- Deux lots de témoins ont été préparés sans parasitoïdes.

Deux semaines après l'introduction des parasitoïdes, moment où la première génération de bruches et de parasitoïdes a commencé à émerger, nous avons compté les adultes de bruches et de parasitoïdes. Nous avons utilisé un tamis de 4/4mm pour cette démarche, jusqu'à la fin des émergences. Les adultes ont été classés et enregistrés directement.

Les paramètres suivants ont été calculés :

1. Effectif moyen de bruches émergé Br.
2. Effectifs moyen de parasitoïdes émergés PE.
3. Taux de parasitisme (Monge et al., 1995 ;Chaisaeng et al .,2010)

$$\text{TP} = (\text{NP} / \text{NP} + \text{NBr}) \times 100$$

Ou NP : Nombre de parasitoïde dans le traitement

NBr : Nombre de bruche dans le traitement

4. Taux de réduction des bruches : (Amèvoïn, 1998)

$$T \text{ red} = (1 - N/N0) \times 100$$

Ou N0 : Nombre de bruches émergés dans le témoin

N : Nombre de bruches émergés dans le traitement

5. La mortalité induite par les parasitoïdes (PAWSON et al., 1987; WEN et al., 1994)

$$PIM = \frac{[NC - (NW + NP)]}{(NC)}$$

NC : le nombre d'hôtes qui ont émergé au traitement sans parasitoïde

NW : le nombre de bruche qui ont émergé

NP : le nombre de parasitoïde qui ont émergé.

6. Sex-ratio de la descendance : Nombre de mâle /nombre de (femelles +

Mâles)

II.2. Analyse statistique

- Pour analyser la fécondité journalière des femelles, nous avons choisi un test de MANN-WHITNEY
- Friedman. Pour comparer l'utilisation de déférente densité de parasitoïdes sur les populations de bruches, nous avons utilisé une analyse de variance (ANOVA)

Ces tests sont effectués sous Xlstat 2009 au seuil 5%.de significativité.

Chapitre III
Résultats et Discussion

III. Résultats

PREMIERE PARTIE : Comportement de ponte et activité parasitaire de l'espèce

III.1. Comportement de ponte des femelles

Après avoir observé le comportement de ponte des femelles dans des boîtes de Pétri contenant une graine, nous avons constaté que ce comportement se divise en quatre phases distinctes. Certaines femelles introduites, ne montrent pas immédiatement de motivation pour pondre et restent immobiles pendant quelques minutes. En revanche, d'autres femelles manifestent une activité locomotrice intense, se déplaçant activement sur les parois de la boîte avant de s'approcher de la graine et de commencer les premières phases de leur comportement de ponte. (**Figure 16**)

- **Prospection antennaire** : Une fois que la femelle d'*A.calandrae* localise la graine contenant l'hôte potentiel, monte sur celle-ci et balaie le tégument de la graine.
- **Insertion de l'ovipositeur** : Lorsque le chorion d'un œuf de bruche adhérent à la graine est repéré, elle courbe son abdomen perpendiculairement à la graine de manière à positionner son ovipositeur, qu'elle introduit ensuite dans la loge nymphale.
- **Forage** : Exploration de l'hôte grâce aux stylets de l'ovipositeur.
- **Ponte** : Ponte d'un œuf sur l'hôte ou près de celui-ci.

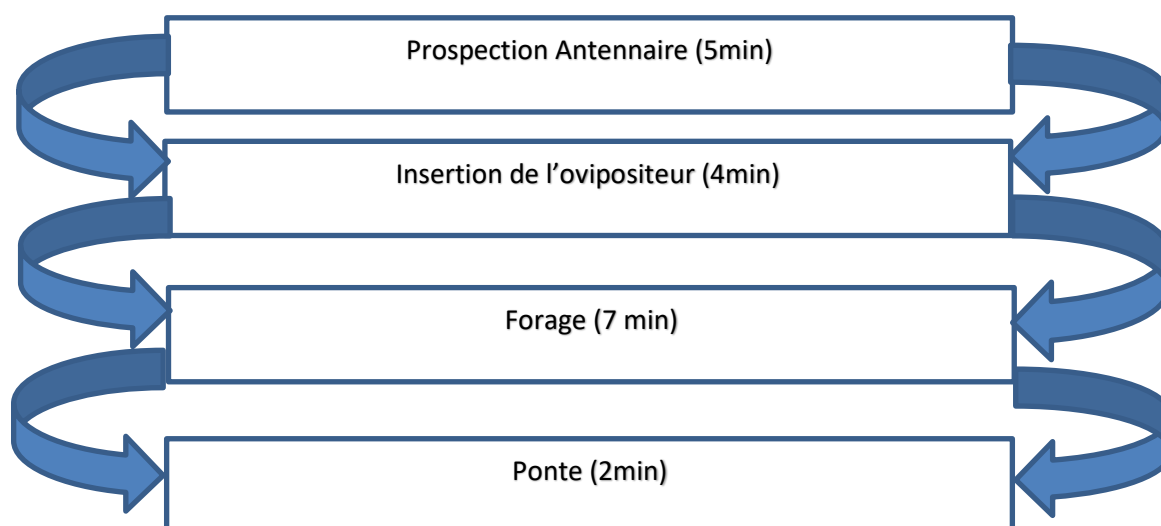


Figure 16 : La durée moyenne (en minutes) des différentes phases du comportement de ponte chez *A. calandrae*

III.2. Activité de Ponte

L'analyse des résultats de l'activité reproductrice des femelles *A.calandrae*, révèle que la ponte n'est pas la même dans les deux séries différentes teste de Mann-Whitney : (MW=5, PV=0.037, $\alpha=0.1$). On peut distinguer trois différentes phases (**Figure 17**):

- Premier jour : 33 % des femelles de la série F1 et 55 % de celles de la série F2 présentent une activité de ponte très faible, avec une moyenne de 1,22 œufs par femelle dans la série F1 et 3,77 œufs par femelle dans la série F2.
- Deuxième au troisième jour : 88 % à 100 % des femelles pondent, et leur activité de ponte augmente pour atteindre une moyenne de 7,66 à 13,22 œufs durant ces deux jours.
- Troisième au quatrième jour : La fécondité des femelles se stabilise à une moyenne de 7,88 œufs par jour dans la série F1, tandis que dans la série F2, elle continue à augmenter jusqu'au cinquième jour pour atteindre une moyenne de 13,88 œufs par jour.
- À partir du quatrième jour : La fécondité et le nombre de femelles pondueuses diminuent. La fécondité moyenne atteint 4,33 œufs par femelle dans la série F1, et 11 œufs par femelle à partir du cinquième jour dans la série F2.
- La fécondité des femelles durant Les 2 jours d'expériences varie de 277 jusqu'à 597œufs.

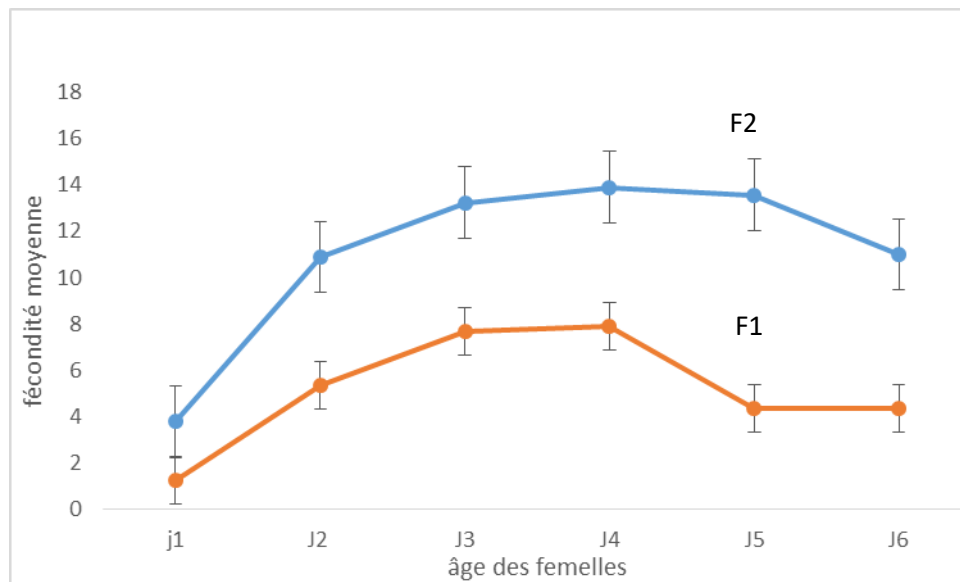


Figure 17 : Fécondité moyenne d'*Anisopteromalus calandrae* en fonction de l'âge des Femelles.

III.2.1. Fertilité et sex-ratio

Sur un total de 874 œufs pondus par 27 femelles d'*A. calandrae* en 6 jours, seulement 251 individus ont émergé, dont 126 femelles et 125 mâles. On constate que le nombre de descendants est similaire pour les deux lots, mais le sex-ratio diffère. Selon le test de Mann-Whitney, la différence de nombre de descendants n'est pas significative (MW = 10, PV = 0.227, $\alpha = 0.1$), tandis que la différence de sex-ratio est significative (MW = 0, PV = 0.002, $\alpha = 0.1$). (**Tableau I**)

Tableau I: Descendance journalière et sex-ratio des femelles en fonction de la densité d'hôtes disponibles

	Lot A (une femelle)			Lot B (deux femelles)		
	Femelles	Mâles	Sex-ratio	Femelles	Mâles	Sex-ratio
J1	10	9	0,47	7	7	0,5
J2	13	8	0,38	11	15	0,58
J3	12	10	0,45	15	17	0,53
J4	11	9	0,45	8	9	0,53
J5	11	6	0,35	9	14	0,61
J6	10	4	0,29	9	17	0,65

- Le sex-ratio moyenne calculée dans le lot **A** : est de 0,39 (inférieure à 0,5) ce qui indique qu'il est biaisé en faveur des femelles.
- Le sex-ratio calculée dans le lot **B** : est de 0,56 (supérieure à 0,5) et ce qui indique qu'il est biaisé en faveur des mâles.

III.3. Influence de la compétition du nombre des femelles d'*Anisopteromalus calandrae* sur la descendance et le sex-ratio

III.3.1. Descendance

La descendance des femelles mises en ponte dans des patches de quatre densités d'hôtes différentes est présentée dans la (**Figure 18**). Les femelles pondent pendant 2 jours, le 4^{ème} et 5^{ème} jours. Les descendants ont été comptés chaque jour pour chaque femelle en fonction de la densité d'hôtes, et les individus ont été classés par sexe à l'émergence.

Le nombre total de descendants produits par femelle, durant la durée de ponte varie significativement en fonction de la densité d'hôtes. Le nombre total de descendants par femelle est en moyenne de 2,2 (20 femelles, 24 mâles) pour les femelles du groupe A (3

hôtes), de 1 (1 femelle, 4 mâles) pour les femelles du groupe B (6 hôtes), de 2,4 (7 femelles, 5 mâles) pour les femelles du groupe C (12 hôtes), et de 2,6 (6 femelles, 7 mâles) pour les femelles du groupe D (18 hôtes)

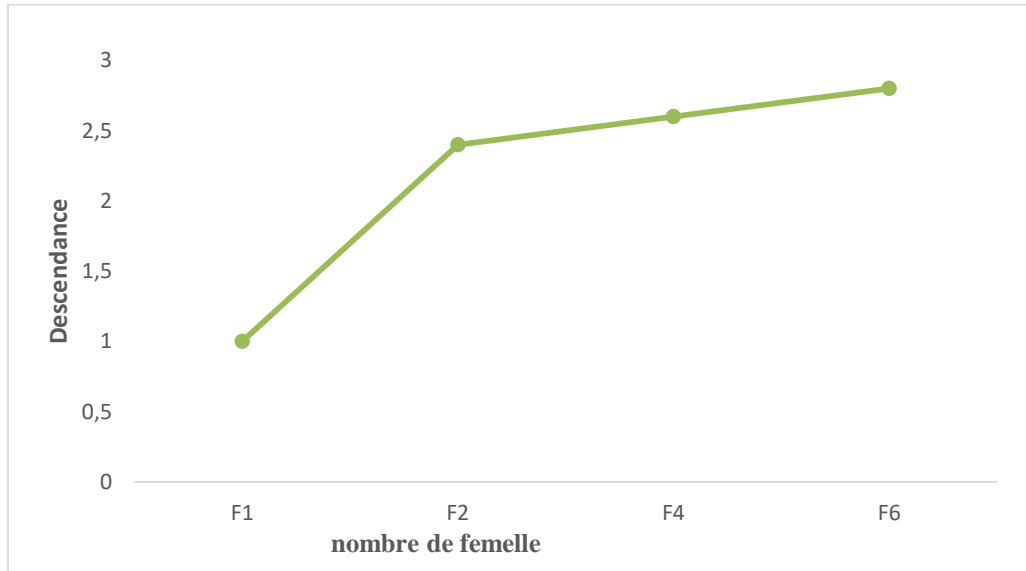


Figure 18 : Le nombre moyen quotidien de descendants en fonction de la densité en hôtes sur la durée de ponte des femelles

III.3.2. Sex-ratio

Le sex-ratio de la descendance obtenus dans cette expérience est un biaisé lorsque la femelle exploite le patche seul, mais il change en fonction de la densité des femelles exploitant le patche. Lorsque la densité est de 2 femelles, le sex-ratio est légèrement inférieure à 0,5, indiquant une légère prédominance des femelles. Pour 4 femelles, le sex-ratio est de 0,38, montrant une proportion encore plus grande de femelles par rapport aux mâles. Cependant, pour une densité de 6 femelles, le sex-ratio augmente et atteint environ 0,7, ce qui indique une prédominance des mâles (**Figure 19**).

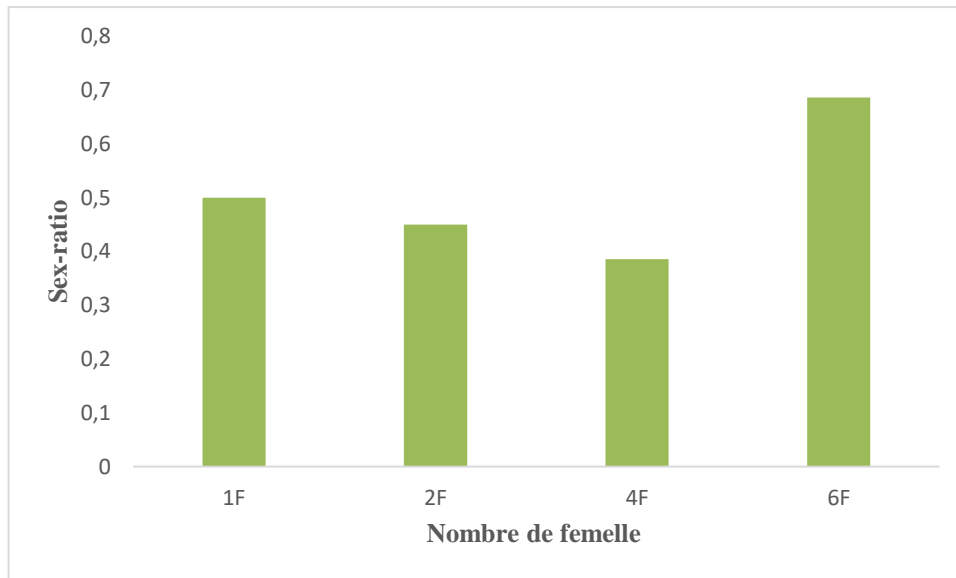


Figure 19 : Sex-ratio des femelles en fonction de la densité d'hôte

III.4. Teste de lutte biologique

III.4.1. Effet de l'introduction des parasitoïdes sur les populations de bruches

Une expérience de contrôle des populations de bruches a été menée en conditions expérimentales pour observer l'évolution des populations de bruches et de leurs parasitoïdes dans un environnement climatique similaire à celui des stocks (30°C et 70% HR). Nous avons introduit le parasitoïde *A.calandrae* en utilisant deux densités de couples (15, 40) dans des boîtes contenant 300 larves de bruches au stade L4. Les paramètres suivants ont été calculés : réduction des bruches, taux de parasitisme, mortalité induite des parasitoïdes, descendance des parasitoïdes et sex-ratio.

III.4.2. L'effectif des bruches émergées

Les résultats de l'impact de l'introduction du parasitoïde *A.calandrae* sur les larves de bruches sont résumés dans la (**Figure 20**). Nous avons obtenu à partir de 300 larves (L4) de *C.maculatus* 183 individus lorsque la bruche se développe sans contrainte parasitaire, soit en moyenne 61 adultes par boîte. L'effectif moyen des bruches émergées diminue significativement en fonction de la densité des femelles dans les traitements (ANOVA : $F = 63.75$, $ddl = 8$, $p < 0.0001$, $\alpha = 0.05$). Cet effectif diminue progressivement avec l'augmentation des densités des femelles *A.calandrae*, jusqu'à atteindre l'effectif moyen le plus faible et (4,33 individus) enregistré pour la densité D40.

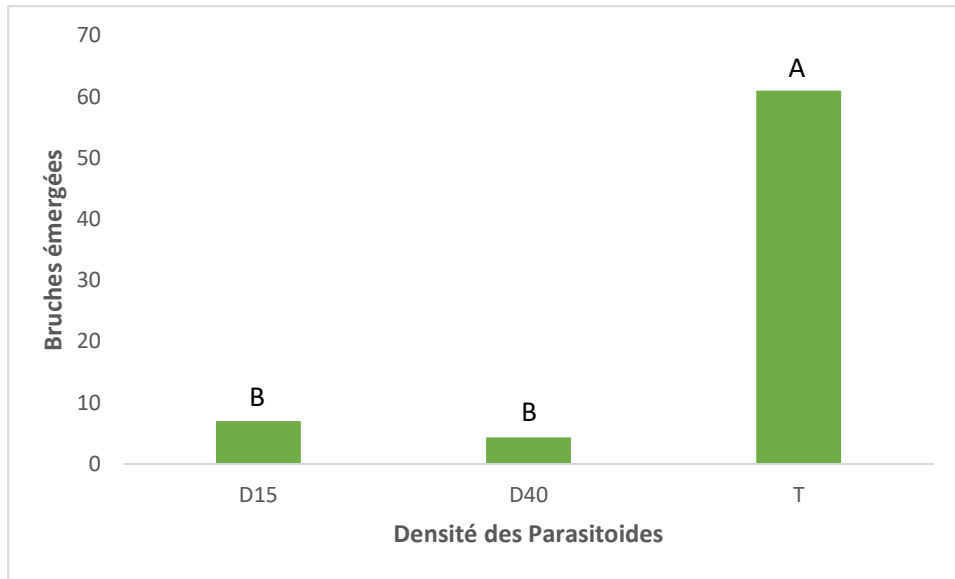


Figure 20 : Variation des effectifs moyens des bruches émergées en fonction de la densité des parasitoïdes introduits.

III.4.3. Taux de réduction des bruches

D'après la (**figure 21**) ; l'introduction des parasitoïdes dans les traitements a montré qu'après trois semaines, il y a une réduction du nombre de bruches par rapport au témoin. Le taux de réduction augmente proportionnellement avec la densité des femelles introduites (ANOVA : $f=70,38$; $ddl=8$; $p<0,0001$). Nous constatons que pour les 2 lots, la densité D40 a enregistré le taux de réduction le plus élevé atteignant 98.55%.

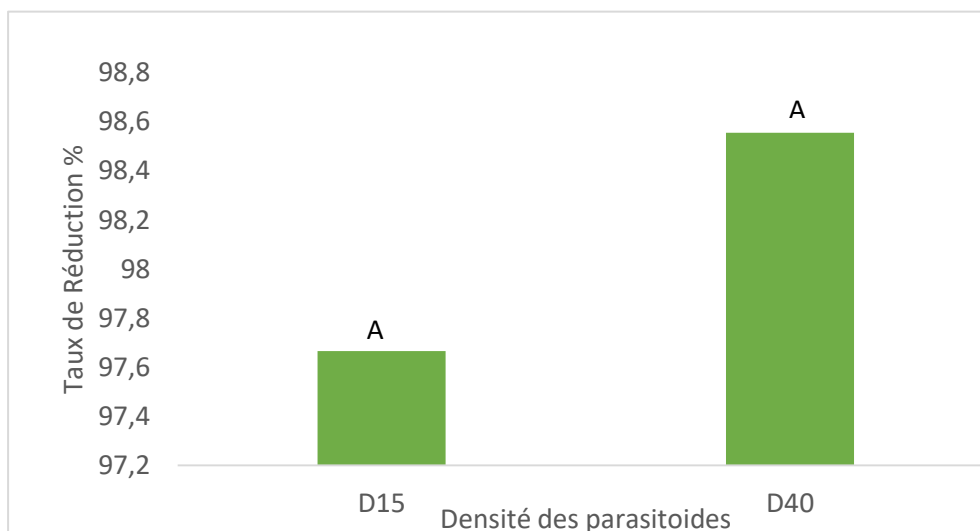


Figure 21 : Variation du taux de réduction des bruches en fonction de la densité des femelles parasitoïdes introduites, trois semaines après introduction.

III.4.4. Taux de parasitisme

Les résultats obtenus, illustrés dans la (**figure 22**), montrent que les taux de parasitisme enregistrés augmentent avec la densité des femelles. Le taux de parasitisme le plus élevé est de 86,2% enregistré dans le lot où sont introduites 40 femelles, mais il n'est pas statistiquement différent de celui enregistré dans le lot où sont introduites, (ANOVA : $f=0,454$; $ddl=5$; $p=0.67$) ($p>0,05$).

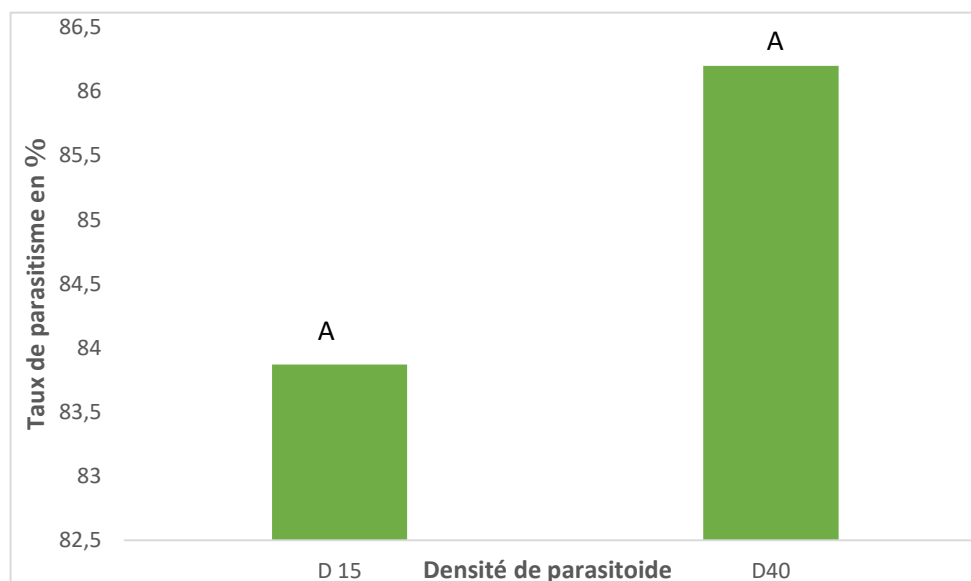


Figure 22 : Variation du taux de parasitisme en fonction de la densité des femelles parasitoïdes introduites, trois semaines ; après introduction.

III.4.5. Mortalité induite des parasitoïdes (PIM)

Comme illustré dans la (**Figure 23**), les résultats montrent que la mortalité des bruches est principalement attribuée à la présence des parasitoïdes, avec des taux de 91 pour la densité D40 et 86,77 % pour la densité D15. Cependant, l'analyse de l'ANOVA révèle que la densité des parasitoïdes n'influence pas de manière significative la PIM (Pourcentage d'Inhibition de la Mortalité) ($F = 0,297$, $ddl = 5$, $p = 0,61$). Aussi, ces résultats suggèrent que malgré la présence des parasitoïdes affecte la mortalité des bruches, la variation de la densité des femelles introduites ne modifie pas la PIM observée.

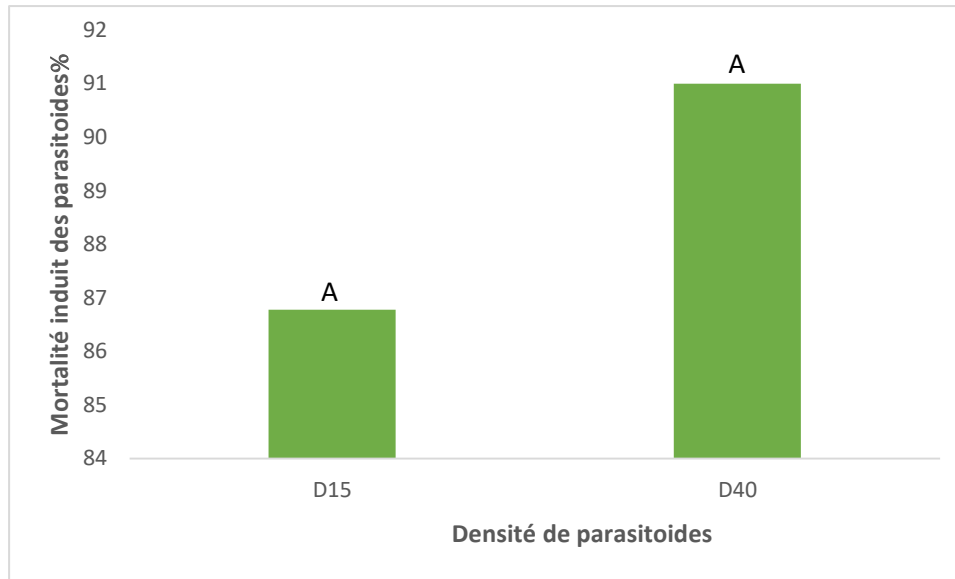


Figure 23 : Variation de la mortalité induite par les parasitoïdes en fonction de la densité des femelles parasitoïdes.

III.4.6. Descendance et Sex-ratio

Pour étudier l'effet de la compétition intraspécifique sur le succès reproducteur des parasitoïdes, nous avons analysé l'effectif des parasitoïdes émergents et le sex-ratio en fonction de la densité des femelles introduites. Trois semaines après leur introduction, l'effectif moyen des parasitoïdes émergents voir (**tableau II**) a montré une légère diminution, passant de 32,66 individus pour la densité D15 à 22,66 pour la densité D40 ; cette variation n'était pas significativement différente selon l'analyse de l'ANOVA ($F = 0,22$, $ddl = 5$, $p = 0,66$).

Par ailleurs, le tableau révèle que le sex-ratio est biaisé en faveur des mâles pour la densité D15, tandis qu'il favorise les femelles pour la densité D40 (ANOVA : $F = 2,6$, $ddl = 5$, $p = 0,18$).

Tableau II: Effectif et sex-ratio des parasitoïdes émergents en fonction des densités des parasitoïdes introduits.

Densité	Descendance	Sex-ratio
D15	32,66	0,71
D40	22,66	0,35

III. Discussion

III.1. Comportement de ponte et l'activité parasitaire chez *A.calandrae*

III.1.1. Comportement de ponte

Le comportement de ponte de la femelle *A.clandrae* correspond au cas général décrit par plusieurs auteurs (Vinson, 1976 ; Van Lentren , 1981 ; Steidle ,2000).

Il se résume généralement à quatre phases représentés dans la (figure 24) :

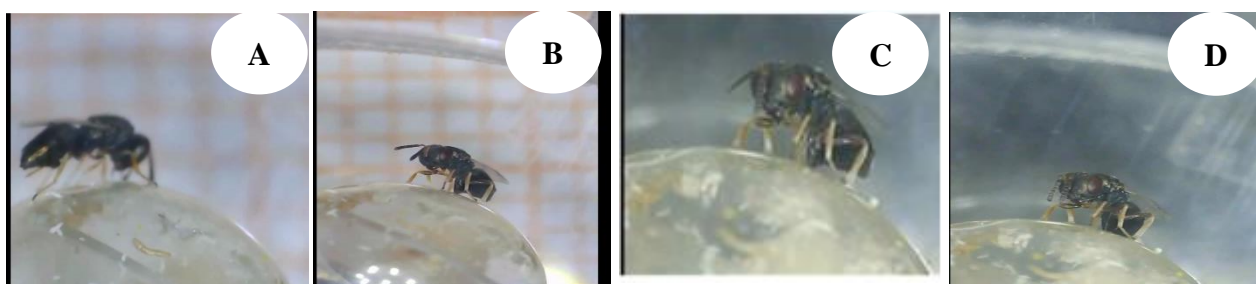


Figure 24 : Comportement de ponte des femelles d'*A.calandrae*. **A :** Prospection antennaire. **B :** Insertion de l'ovipositeur. **C :** Forage. **D :** ponte

Dans nos conditions expérimentales, la femelle *A.clandrae* découvre rapidement la graine contenant l'hôte potentiel. Cette localisation semble se faire à courte distance grâce aux odeurs et mouvements des larves ou nymphaux ainsi, qu'aux fèces de bruche.

D'après Steidl et al .,(2003), les femelles *Lariophagus distinguendus* (hymmenoptera :pteromalidae) découvrent les femelles des charançon, grâce aux indices chimiques provenant des fèces des larves, des larves elles-mêmes et de la graine infestée (Steidle et scholler, 1997 ; Steidle 2000 ; Ruther et steidle, 2002).Aprée la ponte Nous n'avons pas observé les posture de marquage chez *A.calandrae* contrairement chez beaucoup d'espèce d'hyménoptère, *Dinarmus basalis* (Gauthier, 1996 ; Gaublaut, 2003) ,et *L.distinguendus* (Benkhellat, 2016) .

En effet, chez les hyménoptères parasitoïdes, il existe différents types de marquage qui concernent soit l'hôte lui-même (Godfray, 1994), ou son environnement. (Van Dijken et al., 1992; Höller et Hörmann 1993; Bernstein et Driessen 1996; Hoffmeister et Roitberg 1997).

III.1.2. Activité parasitaire

III.1.2.1. Activité de ponte

Les résultats de l'activité reproductrice des femelles d'*A. calandrae* montrent qu'elles possèdent une capacité de ponte très élevée. En observant la ponte quotidienne des femelles, on remarque qu'elle se divise en trois étapes distinctes. L'activité de ponte et le nombre de femelles pondueuses chez *A. calandrae* sont faibles le premier jour, avec 1 à 2 œufs par femelle, puis augmentent progressivement, comme cela a été observé chez *L. distinguendus* (Bellows, 1985) et *Eupelmus vuilleti* (Amévoïn, 1998). La première phase est caractérisée par une très faible ponte des femelles, ce qui est également le cas chez plusieurs espèces synovigéniques comme *E. vuilleti* (Amévoïn, 1998) et *D. basalis* (Gauthier, 1996).

III.1.2.2. Fertilité et sex ratio

Les résultats obtenus montrent que sur les 874 œufs pondus, seulement 251 adultes ont émergé au total (113 dans la série avec une femelle ; 138 dans la série avec deux femelles). Ce faible taux d'émergence d'adultes par rapport au nombre d'œufs pondus conduit à un nombre de descendants relativement faible. Cela peut probablement s'expliquer par le fait qu'*A. calandrae* est un parasitoïde solitaire. Chez les espèces solitaires, un seul individu émerge par hôte, les individus surnuméraires étant éliminés soit par combat larvaire, soit par suppression physiologique.

Une faible émergence pourrait limiter l'efficacité d'*A. calandrae* en tant qu'agent de biocontrôle, en particulier dans les environnements où les populations de ravageurs sont élevées. Cependant, ce trait pourrait aussi être avantageux dans des situations où la concurrence intra- et interspécifique est intense, car il permettrait de maintenir une population de parasitoïdes très compétitive. Labeyrie et Rojas-Rousse (1985), suggèrent que la compétition larvaire, en permettant l'élimination des individus moins compétitifs, contribue au maintien d'une population de parasitoïdes à haute valeur adaptative. Chez les parasitoïdes, il existe une relation directe entre les comportements conduisant au parasitisme et le nombre de descendants produits par les femelles (Cook et Hubbard, 1977 ; van Alphen et Vet, 1986 ; Godfray, 1994 ; van Alphen et Jervis, 1996).

Les résultats obtenus montrent que le sex-ratio est biaisée en faveur des femelles lorsque les femelles exploitent l'hôte seules, mais devient moins biaisé dans la série avec deux femelles. Cette observation suggère que la compétition intraspécifique influence la répartition des sexes chez *A. calandrae*. La théorie de **Hamilton (1979)** propose que les femelles parasitoïdes ajustent le sex-ratio de leur descendance en réponse aux conditions environnementales pour maximiser leur succès reproducteur. Nos résultats semblent conformes à cette théorie, montrant une plasticité dans l'allocation des sexes en fonction des conditions d'exploitation de l'hôte et de la présence de concurrentes.

III.2. Influence de la compétition entre les femelles d'*A.calandrae* sur la descendance et le sex-ratio :

Dans cette étude, quatre densités en hôtes ont été testées pour vérifier la décision de ponte des femelles, les résultats indiquent que les femelles d'*A. calandrae* pondent davantage lorsque la densité d'hôtes est plus élevée. Cela suggère que les femelles ajustent leur effort reproductif en réponse à une plus grande disponibilité des ressources, maximisant ainsi leur succès reproducteur. Cette observation est similaire avec les études de **DeBach et Smith (1941)** et de **Legner (1967)**, qui ont également constaté une augmentation du nombre d'hôtes attaqués avec la densité d'hôtes chez d'autres espèces de Ptéromalidae.

Nos résultats montrent que le sex-ratio est moins biaisé en faveur des femelles à des densités d'hôtes plus élevées, confirmant le modèle LMC de **Hamilton (1979)**. Ce modèle prédit que les femelles parasitoïdes ajustent le sex-ratio de leur descendance en fonction du nombre de femelles conspécifiques présentes, augmentant la proportion de mâles lorsque la compétition entre femelles est plus intense. Cela est également observé chez *Dinarmus basalis* (**Gauthier, 1996**). Cependant, d'autres espèces ne suivent pas ce modèle, comme *Epidinocarsis lopezi* (**van Dijken et al., 1989**), *Anaphes nitens* (**Carbone et Rivera, 2003**), et *Lariophagus distinguendus* (**Werren et Simbolotti, 1989**).

Les femelles parasitoïdes utilisent un système de reproduction haplo-diploïde, où les mâles proviennent d'œufs non fécondés et les femelles d'œufs fécondés. L'ajustement du sex-ratio en réponse aux conditions environnementales est une stratégie adaptative par exemple, Par exemple, en présence de nombreuses femelles dans un même patch, produire plus de mâles peut être avantageux car cela réduit la compétition entre descendantes femelles pour les ressources limitées. (**Lebtrone, 2009**) Pour les programmes de lutte biologique,

comprendre comment les parasitoïdes ajustent le sex-ratio en fonction des conditions environnementales peut aider à optimiser les stratégies de lâchers de parasitoïdes.

III.3. Teste de lutte biologique

III.3.1. Effet de l'introduction des parasitoïdes sur les populations de bruches

Les résultats obtenus après introduction des femelles parasitoïdes dans les populations de bruches *C. maculatus*, montrent que le parasitoïde *A. calandreae* a engendré une diminution de l'effectif de bruches émergents. Nos résultats s'accordent avec les travaux de (Ngamo et al 2007 ; Chaisaeng et al ,2009 ; Benkhellat et al ,2015b), qui confirment l'efficacité de cette espèce à contrôler les populations de *C. maculatus*. Les travaux de Perez Mendoza et al, (1999) ainsi que Riudavets (2002), affirment également l'efficacité de cette espèce sur la population du charançon du riz *Sitophilus oryzae* (coleoptera : curculionidae).

Sans parasitoïdes, le développement de *C. maculatus* à montrer que le nombre moyen de descendants obtenus à partir de 300 larves était de 61 individus en moyen après trois semaines de stockage, l'introduction des parasitoïdes a réduit les effectifs de bruches jusqu'à 4,33 individu. Les travaux de Benkhellat et al., 2015b, où ils ont introduits des densités modérées de femelles d'*A. calandreae* (2, 4, 8), indiquent pareillement que les effectifs des bruches émergeant diminuent en fonction de la densité des femelles introduites, démontrant ainsi le potentiel de cette espèces à contrôler les population de *C. maculatus*.

Dans nos expérimentations, les taux de parasitisme et de réduction les plus élevés ont été enregistrés avec une densité 40 femelles ; atteignant 98,55%. Dans les travaux de Benkhellat et al. (2015b), un taux de parasitisme de 52,30% et un taux de réduction des bruches de 67,14% ont été enregistrés avec une densité de 8 femelles. Le résultat de Mira (2019) explique que l'action d'*A. calandreae* augmente avec les densités des femelles introduite.

Les résultats indique que l'effectif moyenne des parasitoïdes émergents diminue légèrement de 32,66 de la densité 15, jusqu'au 22,66 de la densité 40, cette diminision n'est pas significative. Nous avons obtenu 98 individus dans le traitement avec la densité D15, qui a diminué à 68 individus dans le traitement avec la densité D40. Les résultats obtenus dans les travaux de Benkhellat et al., (2015b) montrent que l'effectif des parasitoïdes varie en fonction de la densité des parasitoïdes introduits, avec une moyenne de 102 individus dans le traitement avec 8 femelles.

Nos résultats indiquent que la mortalité induite par les parasitoïdes (PIM) est très élevée dans les deux densités testées, Des études sur les ravageurs des grains stockés tels que *Sitophilus zeamais* et *Rhyzopertha dominica* indiquent que des parasitoïdes comme *Anisopteromalus calandrae* peuvent réduire considérablement les populations de ravageurs en causant une mortalité élevée par alimentation et impact développemental (**Riudavtes., 2023**).

En effet, les parasitoïdes peuvent provoquer la mortalité des hôtes par divers mécanismes, notamment :

- Alimentation (host- feeding) : Les parasitoïdes adultes peuvent se nourrir de l'hôte ou de ses fluides, causant ainsi des dommages directs (**Lebreton et al .,2009**).

- Oviposition : L'acte de pondre des œufs dans ou sur un hôte peut endommager les tissus et les organes de l'hôte (**Ghimire et Phillips ., 2007 et Benkhellat et al ., 2015b**).

- Impact Développemental : Les larves de parasitoïdes en développement consomment l'hôte de l'intérieur, ce qui conduit à sa mort (**Lebreton et al ., 2009**).

En effet les femelles, après avoir parasité les hôtes sains, quittent rapidement ces derniers pour en chercher de nouveaux dans les stocks. Si elles ne rencontrent pas de nouveaux hôtes sains, elles tendent à superparasiter les hôtes déjà parasités De plus, la compétition par interférence entre les femelles introduites, combinée à une densité élevée de femelles (15 et 40) et au nombre d'hôtes fourni, peut également expliquer le faible effectif des parasitoïdes émergents. Lorsque plusieurs femelles exploitent simultanément le même patch, elles peuvent interférer les unes avec les autres par des combats physiques. L'interférence chez les parasitoïdes se manifeste par une diminution de l'efficacité de recherche en relation avec la densité des parasitoïde (**Goubault ., 2003**).

Les résultats de nos expériences montrent que les femelles d'*A.calandrae* produisent beaucoup plus de femelles que de mâles lorsqu'elles sont introduites dans des boîtes contenant uniquement des larves du quatrième stade de *Callosobruchus maculatus*. Nos expérimentations ont été réalisées dans des conditions standardisées, avec une quantité et une qualité d'hôtes fixes (L4), expliquent le sex-ratio biaisé en faveur des femelles dans les densités D15 et D40. **Amevoïn (1998)** a également noté qu'en fixant la qualité des hôtes, le taux sexuel est en faveur des femelles chez *Eupelmus vuilleti*.

Contrairement à ce que l'on pourrait attendre, la descendance des parasitoïdes a diminué était presque deux fois plus importante dans la faible densité de parasitoïdes que dans la forte densité. Cela est probablement dû au superparasitisme causé par la compétition intraspécifique entre les femelles parasitoïdes, comme cela a été documenté dans d'autres études (Choi *et al.*, 2001 ; Lebreton *et al.*, 2009 ; Solâ *et al.*, 2020) .

Conclusion Générale
Et Perspectives

Conclusion Générale et Perspectives

Notre travail s'inscrit dans le cadre de la lutte biologique contre *C.maculatus*, en utilisant les ennemis naturels, notamment *A.calandrae*, un ectoparasitoïde solitaires nympho-larvophage, se développant aux dépens des larves de *C.maculatus*. Ce parasitoïde est utilisé comme agent de contrôle biologique des populations de bruche du haricot, contribuant ainsi à la conservation des gaines de Niébé stockées.

Au cours de ce travail nous avons constaté que dans les conditions de 30°C et 70% d'humidité, *A.calandrae* présente une durée de développement de 11 à 12 jours. Cette caractéristique permet à *A.calandrae* de produire plusieurs générations, ce ployvoltinisme explique en partie son efficacité en contrôle biologique. Nos résultats démontrent qu'*A.calandrae*, possède des capacités parasitaires importante et engendre beaucoup de descendants.

Les résultats obtenus après l'introduction des parasitoïdes dans une population de bruche montrent qu'*A.calandrae* affecte non seulement l'effectif des bruches émergentes, mais aussi la descendance du parasitoïde lui-même. En effet, nous avons obtenus le même effectif dans la densité D15 et D40. Étant un parasitoïde solitaire, la compétition intraspécifique s'est avérée défavorable, car un seul individu émerge, les individus surnuméraires sont éliminés au cours du développement larvaire. Cependant, cette compétition intraspécifique n'a pas influencé le sex-ratio de la descendance qui reste toujours biaisé en faveur des femelles.

Il est évident qu'*A.calandrae*, avec son potentiel de reproduction très élevé, pourrait contrôler efficacement l'infestation du niébé par la bruche. Toutefois, le succès de ce contrôle dépend également de la densité des femelles introduites dans le niébé infesté.

En guise de perspectives, il serait intéressant de déterminer les densités optimales d'introduction des femelles d'*A. calandrae* pour maximiser l'efficacité de la lutte biologique tout en minimisant les effets négatifs de la compétition intraspécifique.

Des recherches supplémentaires sur la dynamique de cette compétition pourraient aider à comprendre les mécanismes d'élimination des individus surnuméraires et à trouver des moyens de réduire cette compétition.

Par ailleurs, explorer l'utilisation d'autres parasitoïdes ou de combinaisons de parasitoïdes pourrait renforcer le contrôle biologique des bruches.

*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

A

1. **ARBOGAST, R.T., MULLEN, M. A., (1990).** Interaction of maize weevil (Coleopter:Curculionidae) and parasitoid Anisopteromaluscalandrae (Hymenoptera :Pteromalidae) in a small bulk of stored corn. Journal of EconomicEntomology, 83, 2462-2468.

B

2. **BARTALI E.H. (1990).** Underground Storage Pits in Morocco. Tunneling and Underground Space Technology, 2: 381-383.
3. **BECK, C. W., & BLUMER, L. S. (2014).** A Handbook on Bean Beetles , Callosobruchus maculatus. Caryologia.
4. **BELL A., 2000** .Lutte contre les insectes des denrées stockées au Sénégal. Ed .Biotech. Agron., Soc. p 60-61.
5. **BELLOWS T.S.Jr., 1985.** Effect of host and parasitoid age serch behaviour and oviposition rates in Lariophagus distinguendus (Hyménoptera : Pteromalidae). Res.p.Ecol. 27: pp: 65 – 76.
6. **BELLOWS T.S.JR., 1985.** Effect of host and parasitoid age serch behaviour and oviposition rates in Lariophagus distinguendus (Hyménoptera : Pteromalidae). Res.p.Ecol. 27: pp: 65 – 76.
7. **BENKHELLAT O., MONGE J.P., MOALI A., 2015B.** The use of parasitoids Anisopteromalus calandrae and lariophagus distinguendus for the control of the cowpea seed beetle callosobruchus. In proceeding of the 7th international working conference on stored product protection. IOBC-WPRC Bulletin. 111: 359-399.
8. **BENKHELLAT, O., 2016.** Capacités de discrimination des hôtes chez deux hyménoptères parasitoïdes solitaires et étude du potentiel de suppression des populations de bruches en situation de compétition. Thèse de doctorat. Université A.Mira.Bejaia. 22P
9. **BENLAMEUR, Z., 2016.** Les ravageurs des denrées stockées et leur impact sur la santé humaine. Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure Agronomique El-Harrach Alger, 150p.
10. **BERHAUT ET AL, 2003** .stockage et conservation des grains à la ferme (qualité-stockage), stockage à la ferme, (arvalis – institut du végétal) et jean-pierre criaud (grceta de l'evereucin), ARVALIS - institut du végétal.
11. **BERNSTEIN C. & DRIESSEN G. (1996).** Patch-marking and optimal search patterns in the parasitoid Venturia canescens. J. Anim. Ecol., 65: 211-219

Références bibliographiques

12. **BRESSANI, R. 1985.** Nutritive value of cowpeas. John Wiley & sons. New York, 355-360 p.in Cowpea Post-Harvest Operations in Developing Countries, Carlos Gómez MANAGUA, NICARAGUA JULY, 2003.

13. **BRUNO ,J . ,2004.** La discrimination interspécifique par *eupelmus vuilleti* (hymenoptera : eupelmidae) des hotes parasites par *dinarmus basalis* (hymenoptera : pteromalidae).

C

14. **CAMARA A., 2009.** Lutte contre *Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera : Curculionidae) et *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera : Tenebrionidae) dans les stocks de riz par la technique d'étuvage traditionnelle pratiquée en basseguinée et l'utilisation des huiles essentielles végétales thèse du doctorat, 173p

15. **CHAINSAENG P., CHONGRATTANAMETEEKUL W., VISARATHANONTH P., VAJARASATHIARA., 2010.** Laboratory studies on control of the maize weevil *sitophilus zeamais* by the parasitoid *Anisopteromalus calandrae*. Science Asia. 36, pp 6-1

16. **CHAI SAENG, P., CHONGRATTANAMETEEKUL, W., VISARATHANONTH, P. ET VAJARASATHIARA, B. (2010).** Laboratory studies on control of the maize weevil *Sitophilus zeamais* by the parasitoid *Anisopteromalus calandrae*. ScienceAsia, 36 : 6–11.

17. **CHAI SAENG, P., CHONGRATTANAMETEEKUL, W., VISARATHANONTH, P. ET VAJARASATHIARA, B. (2010).** Laboratory studies on control of the maize weevil *Sitophilus zeamais* by the parasitoid *Anisopteromalus calandrae*. ScienceAsia, 36 : 6–11.

18. **CHOI, W. I., YOON, T. J. & RYOO, M. I. 2001.** Host-size-dependent feeding behaviour and progeny sex ratio of *Anisopteromalus calandrae* (Hym., Pteromalidae). Journal of Applied Entomology, 125, 71-77.

19. **CORAF, 2007.** Programme de productivité agricole en Afrique de l'ouest. Plan de Gestion des pestes et pesticides. Rapport E1553., v 2. Dakar, pp 5 – 6

20. **CREDLAND P.F., 1992.** The structure of bruchid eggs may explain the ovicidal effect of oils. J. Stored Prod. Res., 28 (1): 1-9.

D

21. **DAHMARDEH, M., A. GHANBARI, B. SAYASAR, M. RAMROUDI, (2009).** Effect of intercropping maize (*Zea mays* L.) with cow pea (*Vigna unguiculata* L.) on Green forage yield and Davis DW, Oelke EA, Oplinger ES, Doll JD, Hamson CV, Putnam DH (1991) Cowpea. Ed. Université de Wisconsin. Madison. 14 p.

Références bibliographiques

22. **DEBACH, P. & SMITH, H.S., 1941.** The effect of host density on the rate of reproduction of entomophagous parasites. *Journal of Economic Entomology*, 34, 741-745.
23. **DO THI KHANH, H., BRESSAC, C., CHEVRIER, C., (2005).** Male sperm donation consequences in single and double matings in *Anisopteromalus calandrae*. *Physiol. Entomol.* 30, 29-35.
24. **DOTHIKHANH, H. 2005.** *Anisopteromalus calandrae* : un modèle pour l'étude du succès reproducteur des mâles. Thèse de Doctorat, 154 pages. Université de Tours, France.
25. **DOUMAINDJI, A., DOUMAINDJI S., DOUMAINDJI B. (2003).** Cours de technologie des céréales. Ed. Office des publications Universitaires Ben-Aknoun-Alger ; pp 01-20.

E

26. **EGGLETON, P., KJ GASTON, 1990.** "Parasitoid" species and assemblages: convenient definitions or misleading compromises? *Oikos* 59: 417-421.

F

27. **F.A.O., 2006 .**Atelier sous régional de la gestion intégrée durable en agriculture des espèces du :genre *Striga*. In :
<http://www.fao.org/agriculture/crops/corethemes/them/biodiversity/weeds/issues/tri/en/>
28. **FAO, 2012:** The State of Food Insecurity in the World. 2012. Rome. Disponible à l'adresse: <http://www.fao.org/publications/sofi/en/> , consulté le 4 Décembre 2012.
29. **FAO, 2016 :** organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, les avantages nutritionnels des légumineuses, [fao.org/pulses-2016](http://www.fao.org/pulses-2016).
30. **FAO., 2009 a.** Insect pests of stored grains in hot climates. <http://www.fao.org/gIEWS/>. Consulté le 10 .03.2017.
31. **FLEURAT -LESSARD F., 1982.** Les insectes et les acariens. Ed. Lavoisier,Paris,Vol I:394-436.
32. **FLEURRAT – LEUSSARD F., 1978.**Autres méthodes de lutte contre les insectes et acariens des denrées stockées. Coed. AFNOR. I.T.C.F. Paris. pp: 67 – 81.

G

33. **GAUTHIER N. & MONGE J. P. 1988.** Could the egg itself be the source of the oviposition deterrent marker in the ectoparasitoid *Dinarmus basalis*? *J. Insect Physiol.*, 45: 393- 400.
34. **GAUTHIER, G., 1996.** Etude d'un ectoparasitoïde solitaire *Dinarmus basalis* Rond (Hymenoptera : Pteromalidae) en situation de compétition intra- et interspécifique : Activité reproductrice et réponses comportementales. Thèse de doctorat. Tours, 183 p

Références bibliographiques

35. **GHALMI, N., OUNANE, S. M., BEN MOHAMED, A., BEN AMARA, A. ; (2004).** Le Vigna en Algérie une culture Ancestrale 2ème conférence méditerranéenne de rhizobiologie 23 – 25mai 2004 Oran. 2p
36. **GHIMIRE, M. N., & PHILLIPS, T. W. (2007).** Suitability of five species of stored-product insects as hosts for development and reproduction of the parasitoid *Anisopteromalus calandrae* (Hymenoptera: Pteromalidae). *Journal of Economic Entomology*, 100(5), 1732–1741. [https://doi.org/10.1603/0022-0493\(2007\)100\[1732:SOFSSOS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0022-0493(2007)100[1732:SOFSSOS]2.0.CO;2).
37. **GODFRAY H. J. C. (1994).** Oviposition behavior. In: *Parasitoids*, Princeton University Press (Ed.). Princeton, New Jersey. pp. 83-149.
38. **GODFRAY H.J.C., 1994 :** Oviposition behavior. In: *parasitoïds*, Princeton university Press (Ed).Princeton, new Jersy, : 83-149.
39. **GÓMEZ C (2004).** Cowpea: Post Harvest Operations, Post-harvest Compendium, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rome, Italy.
40. **GOUBAULT, M. 2003.** Exploitation des hôtes chez un Hyménoptère parasitoïde solitaire : conséquences adaptatives de la compétition intraspécifique sur les stratégies comportementales des femelles. Thèse de Doctorat, 196 pages. Université de Rennes 1, France.
41. **GUEGUEN MET CERLETTI S., 1994.** Proteins of some legumes seeds: soy bean, pea, faba beans and lupin. in: *bjf. ed. hudson, new and developing sources of food proteins* chapmann and hall, usa. PP: 145-193.
42. **GWINNER J., HARMISCH R ET MUER., 1996.** manuel sur la manutention et la conservation des graines après récolte ed. gt2. Esehborn. 368 p.

H

43. **HAMILTON W. D. (1979).** Wingless and fighting males in wasps and others insects. In: *Sexual Selection and Reproductive competition in insects*. Blum, M. S. & N. A., Blum (Ed.). Academic Press, New-York, pp. 167-220.
44. **HEONG, K. L., 1981.** Searching preference of the parasitoid, *Anisopteromalus calandrae* (Howard) for different stages of the host, *Callosobruchus maculatus* (F.) in the laboratory. *Res. Popu. Ecol.* 23, 177±191.
45. **HOFFMEISTER, T.S. & ROITBERG, B.D., 1997.** To mark the host or the patch: Decision of a parasitoid searching for concealed host larvae. *Evolutionary Ecology*, 11, 145-168.
46. **HÖLLER C. & HÖRMANN R. (1993).** Patch marking in the aphid hyperparasitoid, *Dendrocerus carpenteri* – the information contained in patch marks. *Oecologia*, 94: 128-134.

Références bibliographiques

I

47. **Inge de groot, 2004** . protection des céréales et des légumineuses stockent, c'est un Agrodok (livre) première édition : 1996 deuxièmes éditions : 2004 conception : janneke reijnders traduction : Evelyne Codazzi ISBN, p 74.
48. **ISLAM, W., (1993)**. The biology of AnisopteromaluscalandraeHow., ectoparasitoid on CallosobruchuschinensisL. Bangladesh journal of Zoology 21, 123-132.
49. **ILBOUDO ,Z .,2009**. Activité Biologique de quatre huiles essentielles contre Callosobruchus maculatus Fab. (Coleoptera : Bruchidae), insecte ravageur des stocks de niébé au Burkina Faso. Thèse de doctorat. A université de Ouagadougou

J

50. **J. PEREZ-MENDOZA1, B. A. DOVER, D. W. HAGSTRUM & T. L. HOPKINS; 1999** . Effect of crowding, food deprivation, and diet on flight initiation and lipid reserves of the lesser grain borer, Rhyzopertha dominica . Entomologia Experimentalis et Applicata 91: 317–326.
51. **JACKAI L.E.N., ADALLA C. B., (1997)**. Pest management of borers of cowpea and beans. Insect Science and its application, 16: pp. 237-250.
52. **JALOUX B., 2004**. La discrimination interspécifique par Epelmus Vuilleti (Hymenoptera : Eupelmidae) des hotes parasités par Dinarmus basalis (Hymenoptera : pteromailidae). Thèse de Doctorat, Tours, 161 P.
53. **JERVIS M. & KIDD N. (1996)**. Insect natural enemies: practical approaches to their study and evaluation. Jervis M. & Kidd N. (Eds.). Chapman and Hall, London.
54. **JJM VAN ALPHEN, ME VISSER ; 1986** .Superparasitism as an adaptive strategy for insect parasitoids. Annual review of entomology 35 (1), 59-79
55. **Judd, W. S., Campbell, C. S., Kellogg, E. A., Stevens, P. F., & Donoghue, M. J. (2001)**. Plant systematics: a phylogenetic approach. Sinauer Associates Incorporated.

K

56. **KEITA S.M., VINCENT C., SCHKIT J.P., RRAMASWAMY S et BELANGER A., 2000**. Effect of various essentiel oils on Callosobruchus maculatus (F) (Coleoptera : Bruchidae). Journal of stored products research. 36(4) : pp: 355 – 364.
57. **KELLOUCHE A., 2005** . Etude de la bruche du pois-chiche, Callosobruchus maculatus (Coleoptera : Bruchidae) : Biologie, physiologie, reproduction et lutte. Thèse de doctorat d'état, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 155.

Références bibliographiques

L

- 58. LABEYRIE V ET ROJAS-ROUSSE D., 1985.** Superparasitism reconsidered: Is it an adaptative competition, The exemple of *Diadromus pulchellus*. *Experientia*. 41, pp :15-17.
- 59. LEBRETON S., 2009.**stratégies de ponte en situation de compétition chez une gueepe parasitoïde. Thèse de doctorat Université François –Rabelais de Tours ,France. 43 P
- 60. LEE R.E., LEE M.R., STRONG G ET GUNDRESON G. M., 1993.** Insect cold hardiness indices nucleating active micro – organism including their potential use for biological control. *J. Insect. Phys.* 39 (1): pp: 1 – 12.
- 61. LEGNER, E.F., 1967.** Behavior changes the reproduction of *Spalangia cameroni*, *S. endius*, *Muscidifurax raptor* and *Nasonia vitripennis* (Hymenoptera: Pteromalidae) at increasing fly host densities. *Annals of the Entomological Society of America*, 60, 819-826.

M

- 62. MAPHOSA, Y., & JIDEANI, V. A. (2017).** The Role of Legumes in Human Nutrition. *Functional Food - Improve Health through Adequate Food.* <https://doi.org/10.5772/intechopen.69127>
- 63. Mohamed ; R ; 2012.**Compétition intra et interspécifique chez deux parasitoïdes sympathique résolutions des conflit et conséquence sur les stratégies d’exploitation d’hôtes. Thèse de doctorat. Tours, 213 p
- 64. MONGE J. P., DUPONT P., IDI A. ET HUIGNARD J., 1995.** The consequences of interspecific competition between *Dinarmus basalis* (Rond) (Hymenoptera: Pteromalidae) and *Eupelmus vuilleti* (Craw) (Hymenoptera: Eupelmidae) on the development of their host populations. *Acta Oecologia*, 16: 19-30
- 65. MOUMOUNI D.A., DOMMA A., SEMBENE M., 2013.** Influence des zones agroécologiques sur les parametres biologique de *callosobruchus maculatus* ravageur des graines de niébé (*vigna unguiculata walp*) au niger .*inter. j. biol. Chim. sci.* 7(5): pp: 1865-1876.
- 66. MOUNSY, L., SLAMANI, A. (2017).** Utilisation des parasitoïdes dans la lutte contre les ravageurs des denrées stockées. Soutenu le 17 juin 2017.

N

- 67. NGAMO, T.S.L., KOUNINKI, H., LADANG, Y.D., NGASSOUM, M.B., MAPONGMESTSEM, P.M. & HANCE, T. 2007.**Potential of *Anisopteromalus calandrae* (Hymenoptera: Pteromalidae) as biocontrol agent of *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae). *African Journal of Agricultural Research*, 2, 168–172.

Références bibliographiques

68. NUTO Y., 1995. Synergistic action of co-occurring toxins in the root bark of *Zanthoxylum zanthoxyloides* (Rutaceae) against the cowpea beetle *callosobruchus maculatus*. PhD thesis, Syracuse, N.Y. 107 P.

O

69. OKONKWO E.V ET OKOYE W.I., 1992. The control of *callosobruchus maculatus* (F) in stored cowpea with dried ground *Ricinus communis* (L) leave in Nigeria trop .pest .Man.,38 (3): pp :237-238.

70. OMS 2009. Statistiques sanitaires mondiales 200

P

71. PAWSON, B. M.; PETERSON, J. J.; HOLZER, T. O., 1987. Competitive parasitism of houseypupae (Diptera: Muscidae) by *Muscidofurax zaraptor* and *Urolepis ru@pes* (Hymenoptera: Pteromalidae). J. Med. Entomol. 24, 66±70.

R

72. REGNAULT-ROGER C., 2002. De nouveaux phyto-insecticides pour le troisième millénaire . In : Philogène B.J.R, Regnault-Roger C. & Vincent C., coord. Biopesticides d'origine végétale. Paris : Lavoisier-Éditions Tec et Doc. pp :19-39.

73. RIUDAVETS L., 2002. Biological and mechanical control of *sitophilus oryzae* (Coleoptera: curculionidae) in rice. J. st. Prod. RES. 38, pp: 293-304.

74. RIUDAVTE.2023. Effectiveness of the parasitoid *Anisopteromalus calandrae* (Hymenoptera: Pteromalidae) in the control of *Sitophilus zeamais* and *Rhyzopertha dominica* in paddy rice.

S

75. S. F. Hubbard, R.M. Cook 1977 ; Optimal foraging by parasitoid wasps. Journal of Animal Ecology, 47(2), 593-604.

76. SCHNEIDER, A., & HUYGHE, C. (2015). Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables. Les Légumineuses Pour Des Systèmes Agricoles et Alimentaires Durables. <https://doi.org/10.35690/978-2-7592-2335-0>

77. SINGH BB, AJEIGBE HA, TARAWAL SA, FERNANDEZ-RIVERA S, ABUBAKAR M. (2003). Improving the production and utilization of cowpea as food and fodder. Field Crop Res. 84:169–177. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(03\)00148-5](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00148-5)

78. SOLA, M., RIUDAVETS, J., CASTAN`E, C., 2020. Control of *Rhyzopertha dominica* and *Sitophilus zeamais* in stored rice with different release rates of the larval parasitoid *Anisopteromalus calandrae*. Entomol. Generalis 40 (3), 323–330. <https://doi.org/10.1127/entomologia/2020/0899>.

Références bibliographiques

79. **STEIDLE, J. L. M., STEPPUHN, A. & RUTHER, J. 2003.** Specific foraging kairomones used by a generalist parasitoid. *Journal of Chemical Ecology*, 29, 131-143.
80. **STEIDLE, J., SCHÖLLER, M., 2002.** Fecundity and ability of the parasitoid *Lariophagus distinguendus* (Hymenoptera: Pteromalidae) to find larvae of the granary weevil *Sitophilus granarius* (Coleoptera: Curculionidae) in bulk grain. *J. Stored Prod. Res.* 38, 43–53. [https://doi.org/10.1016/S0022-474X\(00\)00044-8](https://doi.org/10.1016/S0022-474X(00)00044-8).

T

81. **Thanh Manh N .2003 .** effets des contraintes environnementales (densité en hôtes et stress thermiques) sur quelques traits d’histoire de vie des mâles d’anisopteromalus calandreae.
82. **TOUATI ,M .,2019.** Etude de la capacité du parasitoïde *Anisopteromalus calandreae* à contrôler les populations de bruche *Callosobruchus maculatus*, et l’impact de la compétition intraspécifique sur la descendance du parasitoïde.

U

83. **UTIDA S. 1954.** “Phase” dimorphism observed in the laboratory population of the cowpea weevil *Callosobruchus maculatus*. *Jap. J. Appl. Entomol.* 18: 161-168.
84. **UVAH I.I ET ISHAYA A.T., 1992.** Effect of some vegetable oils on emergence, oviposition and longevity of the bean weevil *Callosobruchus maculatus* (F) *Trop .Pest .Man*, 38(3).pp: 257-60.
85. **van Alphen et Jervis, 1996 .** Superparasitism as an adaptive strategy for insect parasitoids.
86. **VAN DIJKEN M. J., VAN STRATUM P. & VAN ALPHEN J. J. M. (1992).** Recognition of individual-specific marked parasitized hosts by the solitary parasitoid *Epidinocarsis lopezi*. *Behav. Ecol. Sociobiol.*, 30: 77-82.
87. **VAN DRISCHE A., BELLOWS T.S., 1996.** *Biological control* .Chapman and hall, New York , 539P
88. **VINSON S. B. (1976).** Host selection by insect parasitoids. *Annual Review of Entomology*, 21: 109-133.

W

- WEN, B.; SIMTH, L.; BROWER, J. H., 1994.** Competition between *Anisopteromalus calandreae* and *Choetospila elegans* (Hymenoptera: Pteromalidae) at different parasitoid densities on immature maize weevils (Coleoptera: Curculionidae) in corn. *Environ. Entomol.* 23, 367±373.

Références bibliographiques

89. WERREN, J. H. 1989. Brood size and sex ratio regulation in the parasitic wasp *Nasonia vitripennis* (Walker) (Hymenoptera: pteromalidae). *Netherlands Journal of Zoology*, 34, 123-143.

90. WIGHTMAN J.A. & SOUTHGATE B.J., 1982. Egg morphology host and probable regions of origin of the bruchids (Coleoptera: Bruchidae) that infest stored pulses. An identification aid. *New Zeland Journ. Exp. Agric.*, 10: 95-99.

Y

91. YOUNG, J. E., KLOSKO, J. S., & WEISHAAR, M. E. (2003). *Schema therapy: A practitioner's guide.* Guilford Press.....

Annexes

Annexes

Annexe 01 : Résultats de la fécondité moyenne d'une femelle d'*Anisopteromalus calandrae* en fonction de l'âge des Femelles (6 jours)

Pont	Nombre d'œuf par jour								
Femelle	J1	J2	J3	J4	J5	J6	Total	Moyenne	
F1	2	7	9	12	4	11	45	7,5	
F2	0	9	10	14	5	4	42	7	
F3	5	6	5	6	0	0	22	3,66	
F4	0	6	5	7	7	4	29	4,83	
F5	0	4	8	4	0	0	16	2,66	
F6	0	5	8	3	5	3	24	4	
F7	4	5	11	4	5	3	32	5,33	
F8	0	2	5	13	9	14	43	7,16	
F9	0	4	8	8	4	0	24	4	
Total	11	48	69	71	39	39			
Moyenne	1,22	5,33	7,66	7,88	4,33	4,33			

- J :jour
- F :femelle

Annexe 02 : Résultats de la fécondité moyenne de deux femelle d'*Anisopteromalus calandrae* en fonction de l'âge des Femelles (6 jours).

Pont	Nombre d'œuf par jour								
Femelle	J1	J2	J3	J4	J5	J6	Totale	Moyenne	
2F1	11	26	7	22	14	26	106	17,66	
2F2	0	6	12	9	25	0	52	8,66	
2F3	0	8	33	23	6	6	76	12,66	
2F4	5	15	11	21	15	11	78	13	
2F5	4	13	22	13	17	25	94	15,66	
2F6	6	4	7	6	11	15	49	8,16	
2F7	8	15	13	19	26	13	94	15,66	
2F8	0	9	7	12	8	3	39	6,5	
2F9	0	2	7	0	0	0	9	1,5	
Totale	34	98	119	125	122	99			
Moyenne	3,77	10,88	13,22	13,88	13,55	11			

- J :jour
- F :femelle

Annexes

Annexe 03 : Descendance et sex-ratio des femelles en fonction de la densité d'hôtes disponibles

	Lot A (une femelle à 3 hôtes)			Lot B (deux femelles à 6 hôtes)		
	Femelles	Mâles	Sex-ratio	Femelles	Mâles	Sex-ratio
F1	0	1	0,5	3	1	0,45
F2	0	2	0,35	0	2	0,40
F3	0	0	0,35	2	0	0,30
F4	1	1	0,35	1	1	0,30
F5	0	0	0,35	1	1	0,40

	Lot C (4 femelle à 12 hôtes)			Lot D (6 femelles à 18 hôtes)		
	Femelles	Mâles	Sex-ratio	Femelles	Mâles	Sex-ratio
F1	0	0	0	2	2	0,5
F2	2	2	0,5	0	1	1
F3	0	0	0	0	1	1
F4	0	2	1	2	1	0,33
F5	4	3	0,42	2	3	0,6

- **F :femelle**

Annexe 04 : Variation des effectifs moyens des bruches émergées en fonction de la densité des parasitoïdes introduits.

	Effectif des bruches	Moyenne
D 15	10	7
D 15	6	
D 15	5	
D 40	8	4.33
D 40	3	
D 40	2	
T1	55	61
T2	74	
T3	54	

D :Densité

T :témoin

Annexes

Annexe 05 : Variation du taux de réduction des bruches en fonction de la densité des

	Taux de réduction des bruches	Moyenne
D 15	96,6666667%	97.66%
D 15	98%	
D 15	98,3333333%	
D 40	97,3333333%	98.55%
D 40	99%	
D 40	99,3333333%	

D :Densité

Annexe 06 : Variation du taux de parasitisme en fonction de la densité des femelles parasitoïdes introduites, trois semaines ; après introduction.

	Taux de parasitisme	Moyenne
D 15	83,8709677%	62.92%
D 15	88,2352941%	
D 15	16,6666667%	
D 40	86,2068966%	76.94%
D 40	57,1428571%	
D 40	87,5%	

D :Densité

Annexe 07 : Variation du la mortalité induite par les parasitoïdes en fonction de la densité des femelles parasitoïdes.

	Mortalité induite des parasitoïdes (PIM)	Moyenne
D 15	79,33%	86.77%
D 15	83%	
D 15	98%	
D 40	80,66%	90.99%
D 40	97,66%	
D 40	94,66%	

Résumé

Ce mémoire traite la lutte biologique contre *Callosobruchus maculatus* en utilisant le parasitoïde *Anisopteromalus calandreae* pour protéger les graines de niébé stockées. Nous avons observé que dans des conditions de 30°C et 70% d'humidité, *A. calandreae* se développe en 11 à 12 jours, permettant plusieurs générations et démontrant son efficacité en contrôle biologique.

La première partie de l'étude a examiné le comportement de ponte et la fertilité des femelles d'*A. calandreae* en relation avec la densité d'hôtes sur six jours. Les résultats montrent une forte capacité parasitaire et une production élevée de descendants. La seconde partie a étudié l'influence de la compétition entre femelles sur la descendance, révélant que la densité d'hôtes affecte significativement le nombre de descendants et le sex-ratio, toujours biaisé en faveur des femelles en présence d'hôtes sains.

Nos résultats indiquent que *A. calandreae* peut réduire l'effectif des bruches de 72,04% et qu'il est un agent potentiel de lutte biologique efficace. La compétition intraspécifique n'a pas influencé le sex-ratio, mais a montré que seuls les individus les plus aptes survivent.

En conclusion, *A. calandreae* a un potentiel élevé pour contrôler l'infestation du niébé par les bruches, mais l'efficacité dépend de la densité des femelles introduites. Des recherches futures devraient déterminer les densités optimales et explorer l'utilisation d'autres parasitoïdes pour renforcer le contrôle biologique.

Mots Clés : *Callosobruchus maculatus*, *Anisopteromalus calandreae*, compétition intraspécifique, contrôle biologique.

Abstract

This thesis deals with the biological control of *C. maculatus* using the parasitoid *A. calandreae* to protect stored cowpea seeds. We observed that under conditions of 30°C and 70% humidity, *A. calandreae* develops in 11 to 12 days, allowing several generations and demonstrating its effectiveness in biological control.

The first part of the study examined the oviposition behavior and fertility of *A. calandreae* females in relation to host density over six days. The results showed high parasite capacity and offspring production. The second part studied the influence of competition between females on offspring, revealing that host density significantly affects the number of offspring and the sex ratio, always biased in favor of females in the presence of healthy hosts.

Our results indicate that *A. calandreae* can reduce bruchid numbers by 72.04% and is a potential agent for effective biological control. Intraspecific competition did not influence the sex ratio, but showed that only the fittest individuals survived.

In conclusion, *A. calandreae* has a high potential for controlling bruchid infestation of cowpeas, but its efficacy depends on the number of insects present.

Keywords: *Callosobruchus maculatus*, *Anisopteromalus calandreae*, intraspecific competition, biological control.

المخلص

«دراسة طفيلي انفرادي من نوع *A. calandreae* (غشائيات الأجنحة: بتيروماليدا)، في حالة المنافسة بين الأنواع وإمكانية تراكب مجموعات البروشيد»

تتناول هذه الأطروحة مكافحة البيولوجية لحشرة *C. maculatus* باستخدام طفيلي *A. calandreae* لحماية بذور اللوبيا المخزنة. ولاحظنا أنه في ظل ظروف 30 درجة مئوية و70% رطوبة، تنمو حشرة *A. calandreae* في غضون 11 إلى 12 يوماً، مما يسمح بتوالد عدة أجيال ويتبنت فعاليتها في مكافحة البيولوجية.

فحص الجزء الأول من الدراسة سلوك وضع البيض وخصوبة إناث *A. calandreae* فيما يتعلق بكثافة المضيف على مدى ستة أيام. أظهرت النتائج قدرة طفيلية عالية وإنتاجية عالية للنسل. درس الجزء الثاني تأثير المنافسة بين الإناث على النسل، وكشف أن كثافة العائل تؤثر بشكل كبير على عدد النسل ونسبة الجنس، حيث كانت متحيزة دائماً لصالح الإناث في وجود عوائل سليمة.

تشير النتائج التي توصلنا إليها إلى أن حشرة *A. calandreae* يمكن أن تقلل من أعداد حشرة البروشيد بنسبة 72.04% وهي عامل مكافحة بيولوجية فعال محتمل. لم تؤثر المنافسة بين الأنواع على النسبة بين الجنسين، ولكنها أظهرت أن الأفراد الأكثر ملاءمة فقط هي التي نجت.

في الختام، تتمتع حشرة *A. calandreae* بإمكانية عالية لمكافحة غزو البروشيد في اللوبيا، ولكن الفعالية تعتمد على لفعالية تعتمد على كثافة الإناث المدخلة. يجب أن تحدد الأبحاث المستقبلية الكثافات المثلى وتكتشف استخدام طفيليات أخرى لتعزيز مكافحة البيولوجية.

الكلمات المفتاحية: *Anisopteromalus calandreae*، *Callosobruchus maculatus*، المنافسة بين الأنواع، مكافحة البيولوجية.