
Recherche d'alternatives aux pesticides chimiques pour lutter contre Tuta Absoluta (Meyrick, 1971) et de stratégies d'optimisation de l'utilisation de Nesidiocoris Tenuis (Reuter, 1895), prédateur de ce ravageur au Burkina Faso

Auteur : Ouedraogo, Dominique

Promoteur(s) : Verheggen, François

Faculté : Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

Diplôme : Master de spécialisation en production intégrée et préservation des ressources naturelles en milieu urbain et péri-urbain

Année académique : 2019-2020

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/10899>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

MASTER DE SPECIALISATION EN PRODUCTION INTEGREE ET PRESERVATION DES RESSOURCES NATURELLES EN MILIEU URBAIN ET PERI-URBAIN

THÈME

**« RECHERCHE D'ALTERNATIVES AUX PESTICIDES CHIMIQUES POUR
LUTTER CONTRE *TUTA ABSOLUTA* (Meyrick, 1971) ET DE STRATEGIES
D'OPTIMISATION DE L'UTILISATION DE *NESIDIOCORIS TENUIS* (Reuter,
1895), PREDATEUR DE CE RAVAGEUR AU BURKINA FASO»**

PRESENTE PAR : OUEDRAOGO DOMINIQUE

PROMOTEUR : Prof. VERHEGGEN François

ANNEE ACADEMIQUE 2019-2020

Remerciements

Au terme de ce travail, c'est pour nous l'occasion d'exprimer notre gratitude à tous ceux et toutes celles qui, d'une façon ou d'une autre, ont contribué à son aboutissement.

Nos remerciements vont premièrement à l'ARES pour avoir financé cette formation et à l'équipe coordonnatrice de ce programme de formation. Nous faisons référence au Professeur Haïssam JIJAKLI, coordonnateur du Master PPRN, et à tout le corps professoral de l'ULG-GEMBLOUX Agro-Bio Tech et de la Haute École de Charlemagne pour les efforts fournis pour nous assurer une formation de qualité.

Nous adressons aussi nos remerciements et notre profonde considération au Professeur François VERHEGGEN, notre promoteur, qui a accepté d'encadrer scientifiquement le présent travail de fin d'études. Il a été immédiatement disposé à nous écouter quand nous nous sommes adressé à lui. Il a eu également la capacité de lire nos profondes inquiétudes et nous a soutenu moralement. Notre gratitude va également à M. W. Mathieu SAWADOGO, qui a accepté de diriger ce travail. Nous vous remercions pour vos conseils et vos orientations pertinentes. Cher Mathieu W. SAWADOGO, vous vous êtes investi pleinement comme notre « co-promoteur officieux ».

Nous remercions également le Professeur Irénée SOMDA, de nous avoir accepté au sein de son laboratoire.

Nos remerciements et notre reconnaissance vont également à tous nos camarades de la promotion pour l'entraide, la cohésion et la convivialité, particulièrement à notre compatriote (Nongamanégré KOANDA), au Congolais Robert Baguma TOUMBEMUNGU.

Enfin, nous remercions tous nos co-stagiaires du laboratoire Clinique des plantes de l'Université Nazi Boni en l'occurrence Issa BELEM et Madi NACANABO, pour leur soutien inestimable durant notre séjour.

Table des matières

Remerciements.....	ii
Liste des tableaux.....	v
Liste des figures	vi
Listes des planches.....	vi
Sigles et abréviations	vii
Résumé.....	viii
Abstract	ix
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE 1 : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE SUR <i>T. absoluta</i> (Meyrick, 1971).....	4
<u>1.1.</u> <i>Tuta absoluta</i> Meyrick	5
<u>1.1.1.</u> Taxonomie	5
1.1.2. Origine et distribution.....	5
1.1.3. Bio écologie de <i>Tuta absoluta</i>	7
1.1.4. Plantes hôtes	7
1.2. Dégâts et pertes occasionnés par <i>Tuta absoluta</i>	8
1.2.1. Dégâts	8
1.2.2. Pertes	9
CHAPITRE 2 : ETUDE SUR LES METHODES ALTERNATIVES A LA LUTTE CHIMIQUE CONTRE <i>T. absoluta</i> (Meyrick, 1971)	10
Introduction.....	11
2.1. Méthodes.....	12
2.2. Résultats.....	13
2.2.1. Historique et évolution de la recherche des méthodes alternatives	13
2.2.2. Méthodes alternatives de lutte aux pesticides chimiques de synthèse	16

2.2.3. Méthodes alternatives à la lutte chimique de synthèse.....	16
2.2.4. Alternatives aux pesticides chimiques dans la lutte contre <i>T. absoluta</i> dans le contexte du Burkina Faso.....	24
2.3. Discussion	25
2.4. Perspectives	27
Conclusion partielle	28
CHAPITRE 3: EXPÉRIMENTATIONS RELATIVES À LA BIOÉCOLOGIE DE <i>N. TENUIS</i> , PRÉDATEUR DE <i>T. ABSOLUTA</i> AU BURKINA FASO.....	29
INTRODUCTION	30
3.1. Généralités sur <i>N. tenuis</i>	31
3.1.1. Taxonomie, origine et distribution dans le monde	31
3.1.2. Caractéristiques morphologiques	32
3.1.3. Cycle de vie de <i>N. tenuis</i>	33
3.1.4. Plantes hôtes	34
3.1.5. Capacité de prédation et dégâts causés par <i>N. tenuis</i> sur les plantes.....	35
3.2. MATERIEL ET METHODES	37
3.2.1. Matériel.....	37
3.2.2. Méthodes	41
3.2.3. Paramètres mesurés	44
3.2.4. Analyse des données.....	45
3.3. RESULTATS ET DISCUSSION.....	46
3.3.1. Résultats.....	46
3.3.1.1. Capacité de prédation des œufs de <i>T. absoluta</i> soumis directement et à la recherche par <i>N. tenuis</i>	46
3.3.1.2. Capacité de prédation des larves de <i>T. absoluta</i> par <i>N. tenuis</i>	47
3.3.1.3. Tests d'efficacité de biopesticides d'origine végétale sur <i>T. absoluta</i>	49

3.3.1.4. Test de sensibilité de <i>T. absoluta</i> aux pesticides commercialisés et probabilité d'échec de contrôle	49
3.3.1.5. Sensibilité de <i>N. tenuis</i> aux pesticides et probabilité d'élimination	50
3.3.1.6. Capacité de développement de <i>T. absoluta</i> sur <i>G. gynandra</i> et la tomate	52
3.3.2. Discussion	54
Conclusion partielle	57
Conclusion générale et perspectives	57
Références bibliographiques	59
Webographie	75
Annexes.....	vi

Liste des tableaux

Tableau 1 : Liste des plantes hôtes sur lesquelles <i>N. tenuis</i> a été signalé.	34
Tableau 2 : Liste des pesticides utilisés et leurs caractéristiques chimiques	39
Tableau 3 : Capacité de prédation des œufs de <i>T. absoluta</i> par <i>N. tenuis</i> soumis directement et à la recherche	47
Tableau 4 : Capacité de prédation des larves de <i>T. absoluta</i> par <i>N. tenuis</i> en 24 heures	48
Tableau 5 : Sensibilité de <i>T. absoluta</i> aux biopesticides en cours de formulation.....	49
Tableau 6 : Sensibilité de <i>T. absoluta</i> aux pesticides testés	50
Tableau 7 : Sensibilité de <i>N. tenuis</i> aux pesticides et probabilité d'élimination	51
Tableau 8 : Sensibilité de <i>N. tenuis</i> aux biopesticides en formulation	52

Liste des figures

Figure 1 : Historique actuel des invasions mondiales de <i>T. absoluta</i> (en Mai 2017).....	6
Figure 2 : Répartition annuelle des publications sur les alternatives à la lutte chimique	15
Figure 3 : Répartition des publications sur les alternatives à la lutte chimique par continent.....	15
Figure 4 : Répartition des différentes alternatives à la lutte chimique traitées par les différents articles publiés	16
Figure 5 : Groupes d’alternatives efficaces de lutte contre <i>T. absoluta</i>	24
Figure 6 : World map distribution of <i>N. tenuis</i>	31
Figure 7 : Stades larvaires et adultes de <i>N. tenuis</i>	32
Figure 8 : Cycle de vie de <i>N. tenuis</i>	33
Figure 9 : Distribution géographique de <i>N. tenuis</i> au Burkina Faso.....	37
Figure 10 : Capacité de développement des larves néonates de <i>T. absoluta</i> sur les feuilles de <i>G. gynandra</i> et de tomate.....	52
Figure 11 : Capacité de développement des larves L2 de <i>T. absoluta</i> sur les feuilles de <i>G. gynandra</i> et de tomate.....	53

Listes des planches

Planche 1 : Symptômes d’attaques de <i>T. absoluta</i> sur feuilles (A), tige (B) et fruit (C).....	8
Planche 2 : Dégâts de <i>T. absoluta</i> : fruits abandonnés entre les allées (Gauche) et triés (Droite) après récolte	9
Planche 3 : Plante de <i>G. gynandra</i>	35
Planche 4 : Prédation des larves de <i>T. absoluta</i> par <i>N. tenuis</i>	36
Planche 5 : Matériel de laboratoire utilisé	41

Sigles et abréviations

a i	Ingrédients actif
C/N	Carbone/Azote
CABI	Centre for Agriculture and Biosciences International
CFL	Control failure likelihood
CL	Concentration Létale
DPVC	Direction de la Protection des Végétaux et du Conditionnement
EC	Concentré émulsionnable
EO	Emulsion de type formulation fluide hétérogène huileux (émulsion inverse)
EW	Emulsion in water
FAO	Food And Agriculture Organisation
Ha	Hectare
HN	Huile de Neem
IDR	Institut du Développement Rural
Ijs	Infective Juveniles
IRAC	Comité d'action pour la résistance aux insecticides
L	Litre
LED	Lampes diodes électroluminescentes
Mg	Milligramme
ml	Millilitre
MRSI	Ministère de la Recherche Scientifique et de l'Innovation
PDCLF	Programme de Développement des Cultures Fruitières et Légumières
SC	Suspension concentrée (concentré fluidifiable, Flow)
SDA-APHIS	Departement of Agriculture- Animal and Plants Health Inspection Service
TDDA	(3E, 8 Z) -3,8- tetradecadien-1-yl acétate ou TDDA.
TDTA	(3E, 8Z, 11 Z) -3, 8,11-tetradecatrien-1-yl acétate ou TDTA
WP	Poudre mouillable
µl	Microlitre

Résumé

La tomate, *Solanum lycopersicum* L., est le deuxième légume le plus cultivé et consommé au Burkina Faso. Elle est cependant attaquée par de nombreux nuisibles dont *Tuta absoluta* Meyrick, une mineuse qui en réduit les rendements. L'objectif général de cette étude était la recherche d'alternatives à la lutte chimique contre *T. absoluta*. Nous avons sélectionné la punaise prédatrice *Nesidiocoris tenuis* comme axe de recherche. En effet, il est ressorti de notre recherche de littérature que cette punaise était un agent de lutte efficace et commercialisé dans de nombreux pays. Associée au piégeage de masse et, à l'utilisation de *Bacillus thuringiensis*, cette punaise pourrait être une alternative crédible dans le contexte burkinabè.

La capacité de *N. tenuis* à se nourrir d'œufs de *T. absoluta* croît au cours de son développement. Les larves L1 ($18,4 \pm 12,7$ œufs en 24 h) sont les moins voraces tandis que les adultes ($45,0 \pm 9,9$ œufs en 24 h) sont les plus voraces. *Nesidiocoris tenuis* n'arrive à prédater les larves L1 de *T. absoluta* ($3,0 \pm 1,5$ larves en 24 h) qu'à partir de son stade L3 à lui. Cette capacité croît également avec son développement jusqu'au stade adulte où il arrive à consommer $11,0 \pm 1,8$ larves en 24 h. Seules les larves L5 de *N. tenuis* arrivent à prédater les stades L2 de *T. absoluta* ($4,4 \pm 1,6$ larves en 24 h).

L'exposition des larves L5 de *N. tenuis* aux insecticides montre que l'Abamectine, l'Emamectine benzoate, le Spinosad et le Spinetoram dont les CL_{50} sont comprises entre 0,77 et 4,94 mg/l sont toxiques avec 100% de probabilité d'anéantir toute la population du prédateur en 24 h s'ils sont utilisés à la dose recommandée. Par contre, l'application de *B. thuringiensis*, l'huile de neem, huile de *Jatropha curcas*, des extraits de *Cleome viscosa*, d'*Ocimum basilicum* et de *Parkia biglobosa* maintiendront une partie de la population de *N. tenuis* dans les parcelles de tomate. Dans l'ensemble, ces résultats suggèrent que *N. tenuis* pourrait être envisagé en lutte intégrée avec ces biopesticides contre *T. absoluta* au Burkina Faso.

Mots clés : Tomate, *Tuta absoluta*, *Nesidiocoris tenuis*, alternatives, lutte intégrée, Burkina Faso

Abstract

Solanum lycopersicum L., a tomato species is the second most widely grown and consumed vegetable in Burkina Faso. However, it is attacked by many pests, of which *Tuta absoluta* Meyrick, a leaf miner, has been found to cause yields reduction. The general objective of this study was to search for alternatives to chemical control of *T. absoluta*. The study focused on the predatory bug *Nesidiocoris tenuis*. Indeed, it was revealed from our literature review that this bug was an effective control agent which has been commercialized in many countries. In combination with mass trapping and the use of *Bacillus thuringiensis*, this bug could be a credible alternative with regards to Burkina context.

The ability of *N. tenuis* to feed on *T. absoluta* eggs is increasing during its development stage. L1 larvae (18.4 ± 12.7 eggs in 24 h) are the less voracious compared to the adults (45.0 ± 9.9 eggs in 24 h). *Nesidiocoris tenuis* was unable to predate L1 larvae of *T. absoluta* at L3 stage (3.0 ± 1.5 larvae in 24 h). This ability also increases with its development stage until the adult stage from which it consumed 11.0 ± 1.8 larvae in 24 h. Only the L5 larvae of *N. tenuis* can predate *T. absoluta* at L2 stage (4.4 ± 1.6 larvae in 24 h).

The exposure of *N. tenuis* larvae at L5 stage to insecticides shows that Abamectin, Emamectin benzoate, Spinosad and Spinetoram with LC50 between 0.77 and 4.94 mg/l, when used recommended dose are toxic with a 100% probability of killing the entire population of the predators in 24 h. On the other hand, the use of *B. thuringiensis*, neem oil, *Jatropha curcas* oil, extracts of *Cleome viscosa*, *Ocimum basilicum* and *Parkia biglobosa* will maintain part of the *N. tenuis* population in tomato plots. Overall, these results suggest that the use of *N. tenuis* could be considered as a promising integrated pest management strategy as bio-pesticides to fight against the spread of *T. absoluta* in Burkina Faso.

Keywords: Tomato, *T. absoluta*, *N. tenuis*, alternatives, integrated pest management, Burkina Faso

INTRODUCTION GENERALE

Avec une production estimée à 182 256 458 tonnes en 2018, la tomate (*Solanum lycopersicum* L.) est le deuxième légume le plus cultivé à travers le monde après la pomme de terre (368 168 914 tonnes) (FAOSTAT, 2018). Selon la même source, les trois grands pays producteurs (Chine, Inde et Etats-Unis) contribuent pour 51,4 % à la production mondiale avec respectivement 33,82 %, 10,63 % et 6,90 %. En Afrique, l’Egypte (3,63%), le Maroc (0,77%), la Tunisie (0,74 %) et l’Algérie (0,72 %) sont les grands pays producteurs. Ces quatre pays ont participé pour 5,82 % à la production mondiale de tomate en 2018 (FAOSTAT 2018).

Au Burkina Faso, la tomate est classée deuxième légume après l’oignon avec une production estimée à 167 400 tonnes au cours de la campagne 2018-2019, soit environ 20,28 % de la production totale de légumes du pays (MAAH, 2019). Elle a été produite dans 4844 sites maraîchers sur une superficie de 43050 ha durant la campagne 2018-2019 (MAAH, 2019). La production de tomate contribue non seulement à résorber le chômage mais participe aussi à l’équilibre alimentaire des ménages, en même temps qu’elle est source d’entrée de devises pour le pays à travers son exportation. Elle a apporté plus de 78 milliards de FCFA à l’économie nationale en 2018 (MAAH, 2019).

Malgré cette place de choix dans la production maraîchère, les quantités de tomate produites restent insuffisantes pour couvrir les besoins internes et satisfaire la demande extérieure sans cesse croissante. Le rendement moyen de la tomate est estimé à 10,91 t. ha⁻¹ (FAOSTAT, 2018) ; ce qui est faible comparativement à la moyenne mondiale qui est de 38,27 t. ha⁻¹ (FAOSTAT, 2018) et au potentiel de 28 à 45 tonnes des variétés produites au Burkina Faso (MRSI, 2014).

Plusieurs contraintes abiotiques et biotiques (dont les insectes) sont à l’origine de la faiblesse des rendements. Au complexe bio agresseur *Bemisia tabaci* (Gennadius) et *Helicoverpa armigera* (Hubner), vient s’ajouter la mineuse sud-américaine de la tomate *Tuta absoluta* (Meyrick). La présence de cette mineuse a été révélée pour la première fois au Burkina Faso par Son et al., (2017a) et dans tous les sites de production de tomate à travers le pays (DPVC, 2019). Ce lépidoptère de la famille des *Gelechiidae* est considéré comme l’un des ravageurs les plus dévastateurs de la tomate dans son aire d’origine (Siqueira et al., 2000). Il peut causer des pertes allant jusqu’à 100% si aucune méthode de gestion n’est appliquée (Desneux et al., 2010 ; Badaoui

et al., 2011). Même s'il n'existe pas pour le moment d'étude qui montre les effets néfastes de ce prédateur sur la culture de tomate au Burkina Faso, on sait qu'il a été à l'origine de l'abandon total de parcelles exploitées dans certains sites de production de tomate (Sawadogo, 2019, communication personnelle).

Pour faire face à cette nouvelle menace, l'application systématique des pesticides de synthèse est la pratique couramment utilisée par les producteurs. Malheureusement, le caractère endophyte des larves du ravageur réduit les effets des pesticides, conduisant certains producteurs à augmenter le nombre de traitements et à appliquer des doses de plus en plus fortes. De plus, *T. absoluta* a développé une résistance à une large gamme de pesticides dont les organophosphorés (Haddi et al., 2017 ; Zibae et al., 2018), l'indoxacarbe (Silva et al., 2011 ; Roditakis et al., 2013), les spinosynes (Silva et al., 2016), les avermectines (Sequeira et al., 2001) et les pyréthrinoïdes (Haddi et al., 2012 ; Barati et al., 2018), qui constituent 62,5% (Son et al., 2017) des pesticides utilisés pour la protection de la tomate au Burkina Faso. L'utilisation abusive des pesticides qui en découle pourrait causer de sérieux problèmes à l'environnement ainsi qu'à la santé humaine et animale.

OBJECTIFS

Face à cette situation, la recherche d'alternatives à la lutte chimique s'avère nécessaire. De nombreuses recherches ont prouvé l'existence de solutions chimiques, biologiques, des pratiques culturales qui, appliquées seules ou en combinaison, sont efficaces contre *T. absoluta*. Cependant, peu d'études se sont penchées sur la compatibilité de ces différentes méthodes de lutte.

Ce dernier constat justifie la présente étude intitulée « Recherche d'alternatives aux pesticides chimiques pour lutter contre *Tuta absoluta* (Meyrick, 1971) et de stratégies d'optimisation de l'utilisation de *Nesidiocoris tenuis* (Reuter, 1895), prédateur de ce ravageur au Burkina Faso».

L'objectif général de cette étude est de contribuer à la réduction de l'utilisation des pesticides chimiques de synthèse en matière de culture de tomate au Burkina Faso.

Spécifiquement, il s'est agi de :

- Faire le point de l'existence d'alternatives de lutte décrites dans la littérature contre *T. absoluta* et applicables dans le contexte agricole burkinabè ;
- Évaluer la capacité de prédation de *N. tenuis* sur les stades œuf et larves de *T. absoluta* ;
- Évaluer la capacité de recherche des œufs de *T. absoluta* par *N. tenuis* ;

- Comparer le niveau de susceptibilité (concentrations létales) aux pesticides (chimique et biologique) entre *N. tenuis* et *T. absoluta* ;
- Évaluer la capacité de développement de *T. absoluta* sur *Gynandropsis gynandra*.

Pour atteindre ces objectifs, les hypothèses suivantes sont émises :

- **H 1** : Il existe des alternatives efficaces de lutte contre *T. absoluta* décrites dans la littérature et applicables au Burkina Faso ;
- **H 2** : *N. tenuis* s'attaque aux stades de développement œuf et larve de *T. absoluta* ;
- **H 3** : *N. tenuis* est capable de rechercher et localiser les œufs de *T. absoluta* sur les plantes de tomate ;
- **H 4** : Certains insecticides sont compatibles avec *N. tenuis* dans une stratégie de lutte intégrée contre *T. absoluta* ;
- **H 5** : *Gynandropsis gynandra* n'est pas une plante hôte de *T. absoluta*.

CHAPITRE 1 : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE SUR *T. absoluta* (Meyrick, 1971)

1.1. *Tuta absoluta* Meyrick

1.1.1. Taxonomie

Tuta absoluta a été découverte et décrite pour la première fois en 1917 par l'entomologiste Edward Meyrick (Biondi et al., 2018). La mineuse est de la famille des *Gelechiidae*, qui comprend plus de 4000 espèces (Biondi et al., 2018).

La dénomination du ravageur a connu plusieurs modifications. De *Phthorimea absoluta*, l'espèce a ensuite été classée comme *Gnorimoschema* en 1962 par Clarke puis *Scrobipalpula* en 1964 et *Scrobipalpuloides* en 1987. Ce n'est qu'en 1994 qu'elle a été ré-décrite comme *Tuta absoluta* par Povolny (Siqueira et al., 2001 ; Biondi et al., 2018).

Selon Povolny (1994), cité par Badaoui (2018), la position systématique de *T. absoluta* se présente comme suit :

Règne: *Animalia*

Phylum: *Arthropoda*

Classe : *Insecta*

Ordre : *Lepidoptera*

Sous-ordre : *Glossata*

Super-famille : *Gelechioidea*

Famille : *Gelechiidae*

Sous famille : *Gelechiinae*

Genre : *Tuta*

Espèce : *Tuta absoluta* Meyrick (1917)

1.1.2. Origine et distribution

Tuta absoluta était initialement décrite comme originaire d'Amérique centrale. Mais, des hypothèses récentes la suggèrent comme originaire des plateaux du centre du Pérou d'où elle se serait répandue aux pays d'Amérique latine au cours des années 1960 (Desneux et al., 2011 ; Campos et al., 2017 ; Biondi et al., 2018). Elle a été détectée au Chili en 1935, en Argentine en 1964, puis en Bolivie et au Brésil en 1980 (Siqueira et al., 2001 ; Badaoui, 2018). Après plus de 50 ans d'établissement en Amérique latine, le ravageur a été signalé pour la première fois en Espagne

en 2006 (Urbaneja et al., 2007) à partir d'une population chilienne (Guillemaud et al., 2015). Dès lors, il s'est propagé à une vitesse moyenne de 800 km par an vers l'Est et vers le Sud (Biondi et al., 2018). Le continent africain a été presque totalement envahi en huit ans depuis sa détection au Maroc en 2008, suivie de son invasion de l'Afrique du Sud en 2016 (Son et al., 2017 ; Sylla et al., 2017 ; Badaoui et al., 2018), exception faite des pays du Sud-Ouest du continent. Cependant, le Service d'inspection zoosanitaire et phytosanitaire (USDA-APHIS) du département de l'Agriculture des Etats-Unis (SDA-APHIS, 2014 ; Biondi et al., 2018) estime qu'il est présent dans la plupart de ces pays. Cette présence s'explique par plusieurs facteurs tels que la proximité géographique avec les pays envahis, l'absence de barrières physiques et la probabilité d'établissement des modèles de prévisions CLIMEX (Biondi et al., 2018). Aujourd'hui, on observe une mondialisation de l'invasion de ce ravageur et sa présence est signalée en Europe, en Afrique et en Asie (Figure 1) où il est considéré comme un ravageur primaire de la tomate (Desneux et al., 2011 ; Biondi et al., 2018 ; Mansour et al., 2018 ; Verheggen et Fontus 2019).

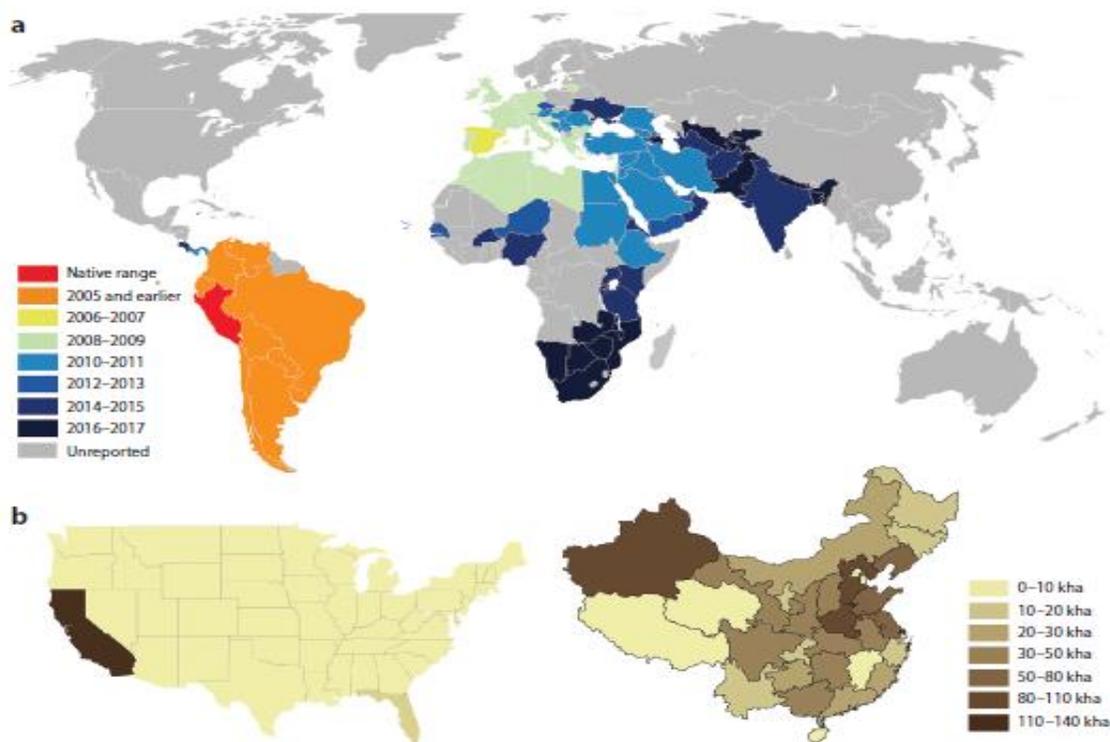


Figure 1 : Historique actuel des invasions mondiales de *T. absoluta* (en mai 2017)

- a) Calendrier d'invasion et b) Zone de production de la tomate aux États-Unis (à gauche) et en Chine continentale (à droite). Les deux principaux pays producteurs de tomate non encore envahis.

Source : Biondi et al., 2018

Tuta absoluta n'a encore été signalé ni aux États-Unis ni en Chine, qui représentent les grandes zones de production mondiale de tomate. Cependant, les modèles informatiques projettent une forte probabilité d'invasion de ces zones (Tabuloc et al., 2019).

1.1.3. Bioécologie de *Tuta absoluta*

La mineuse de la tomate est une espèce diploïde à $2n = 58$ chromosomes avec pour ZZ la paire de chromosomes sexuels mâles et WZ celle de chromosomes sexuels femelles (Paladino et al., 2016). Les papillons de *T. absoluta* mesurent entre 5 à 7 mm de long avec des femelles plus grandes (Desneux et al., 2010). La femelle peut pondre 260 œufs après l'accouplement qui peut durer plus de quatre heures et a lieu généralement le matin, 2 à 3 jours après leur émergence (Badaoui, 2018). Les œufs, de couleur blanc crème à la ponte, sont déposés séparément ou en groupes de façon aléatoire à raison de 2 à 5 œufs (Yagoub, 2019) sur les parties aériennes (jeunes feuilles, tiges tendres, bourgeons apicaux) de la plante hôte (Cocco et al., 2015 ; Biondi et al., 2018). Quatre à cinq jours après la ponte, les œufs vont éclore et les larves néonates pénètrent les parties tendres de la plante pour se nourrir (Cuthbertson et al., 2013).

Les larves passent par quatre stades larvaires avant de se nymphoser dans le sol ou dans les feuilles recourbées au bout de 13 à 15 jours (Desneux et al., 2010 ; Tropea Garzia et al., 2012).

La température optimale de développement de la mineuse est de 30°C et la durée du cycle de vie varie de 26 à 75 jours avec des seuils de développement supérieurs et inférieurs estimés à 34,6 °C et 14°C respectivement (Martins et al., 2016). Selon Cuthbertson et al., (2013), aucun développement ou reproduction ne se produit à basse température. Cependant, *T. absoluta* montre une tolérance au froid avec 50% de survie larvaire, nymphale et adulte à 0°C (pour 11,1 ; 13,3 et 17,9 jours, respectivement). Aucune diapause n'est observée chez *T. absoluta* et ses caractéristiques biologiques lui permettent d'accomplir plus de 10 générations par an (Biondi et al., 2018).

1.1.4. Plantes hôtes

La tomate, de la famille des Solanacées, est la plante préférée par *T. absoluta* (Sylla et al., 2019) et sur laquelle il cause le plus de dommages (Cherif et Verheggen 2019). En plus des espèces de Solanacées (cultivées ou sauvages), cet insecte peut pondre et se développer sur une large gamme de familles de plantes (Cherif et Verheggen, 2019). En effet, des espèces appartenant aux familles

des Solanacées, Amarantacées, Euphorbiacées, Cucurbitacées, Géraniacées, Fabacées, Astéracées, Malvacées, et aux Chenopodiacées peuvent permettre un développement partiel ou complet du ravageur (Cherif et Verheggen, 2019 ; Yagoub, 2018).

1.2. Dégâts et pertes occasionnés par *Tuta absoluta*

1.2.1. Dégâts

La mineuse de la tomate représente une menace pour la production de la tomate et relativement moins pour les autres espèces de Solanacées cultivées (Biondi et al., 2018 ; Han et al., 2019). Les dommages sur la tomate sont causés par les larves qui s'attaquent aux parties aériennes de la plante (tiges, feuilles, fruits et fleurs) et pouvant occasionner des pertes de rendement de 50 à 100% si aucune mesure de contrôle n'est prise (Polat et al., 2016 ; Han et al., 2019). Les symptômes de *T. absoluta* sont remarquables sur :

- Les feuilles : les larves pénètrent entre les deux épidermes de la feuille et se nourrissent à partir des cellules du parenchyme à l'aide de leurs crochets mandibulaires, entraînant une destruction d'une grande partie de la surface foliaire (Badaoui, 2018). Il se forme des plages décolorées (Planche 1A) sur la feuille qui finissent par se nécroser, faisant penser à une attaque de mildiou (Suinaga et al., 2004 ; Badaoui, 2018) ;
- Les tiges ou pédoncules : la larve pénètre à l'intérieur des tiges, forme des galeries et y laisse ses déjections (Pereira et al., 2008) ; de ce fait, elle perturbe le développement des plantes (Planche 1B) ;
- Les fruits verts ou mûrs : les tomates présentent des nécroses sur le calice ou des trous (Planche 1C) de sorties à la surface (Badaoui, 2018).

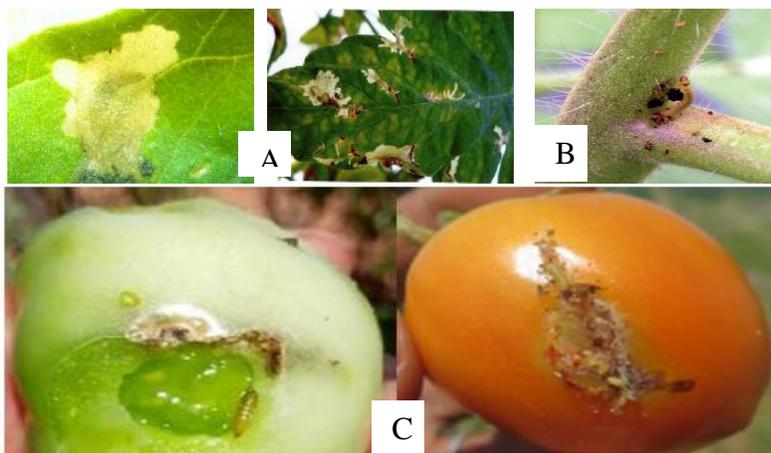


Photo : M.W. Sawadogo

Planche 1 : Symptômes d'attaques de *T. absoluta* sur feuilles (A), tige (B) et fruit (C).

1.2.2. Pertes

Selon Han et al., en 2019, les pertes économiques occasionnées par le ravageur peuvent être dues à :

- Une réduction de la production liée à l'infestation des feuilles, des tiges, des fleurs et des fruits qui peut entraîner une baisse de rendement ;
- Un coût de gestion supplémentaire ;
- Une diminution et /ou restriction des échanges entre les pays infestés et non infestés.

Au Burkina Faso, peu d'études d'évaluation de l'impact économique de *T. absoluta* sur la production de la tomate sont disponibles. Néanmoins, une enquête réalisée par Zerbo (2019) dans la région du Sahel du pays montre que les pertes causées par l'infestation de *T. absoluta* sont énormes. La production perdue au champ (Planche 2) est estimée à $70,3 \pm 22,8$ %. En termes monétaires, la perte est estimée à $1\,694\,542 \pm 1\,373\,625$ F CFA.ha-1 (2587 ± 2097 €. ha⁻¹)



Planche 2 : Dégâts de *T. absoluta* : fruits abandonnés entre les allées (Gauche) et triés (Droite) après récolte

**CHAPITRE 2 : ETUDE SUR LES METHODES
ALTERNATIVES A LA LUTTE CHIMIQUE CONTRE
T. absoluta (Meyrick, 1971)**

Introduction

Depuis la découverte de *T. absoluta* dans sa zone d'origine et le début de son expansion mondiale en 2006 à partir de l'Europe, plusieurs méthodes de lutte ont été développées pour réduire son impact sur la production de tomate. Parmi les méthodes de lutte, les pesticides ont longtemps été la première option (Han et al., 2019). L'utilisation de plusieurs pesticides monomoléculaires, binaires ou ternaires a permis de réduire les dégâts de *T. absoluta* sur la tomate. Cependant, au cours des années d'application, le ravageur a développé de la résistance à plusieurs classes d'insecticides dans sa zone d'origine avant son expansion (Siqueira et al., 2000, 2001 ; Guedes et Picanco, 2012 ; Campos et al., 2014, 2015 ; Silva et al., 2016 ; Roditakis et al., 2017, 2018). Les premiers cas de résistance du ravageur aux organophosphorés et aux carbamates ont été rapportés par Moore en 1983. La résistance aux organophosphorés a plus tard été confirmée par Zibae et al., en 2018 puis, Bala et al., en 2019. Le ravageur a montré de la résistance à d'autres familles de pesticides tels que les oxadiazines (Silva et al., 2011), les pyréthrinoïdes (Leitti et al., 2005 ; Haddi et al., 2012 ; Bala et al., 2019 ; Sawadogo et al., 2020), les diamides (Roditakis et al., 2015 ; Nauen et Steinbach, 2016 ; Ricardson et al., 2020) au spinosad (Roditakis et al., 2017 ; Grant et al., 2019) et à l'avermectine (Roditakis et al., 2017). A cela s'ajoutent leurs effets indésirables sur les agents de lutte biologique (Biondi et al., 2013 ; Abbes et al., 2015 ; Passos et al., 2018 ; Pérez-Aguilar et al., 2018).

Au regard des effets néfastes des pesticides chimiques de synthèse sur l'homme, l'environnement, les animaux et de leur incompatibilité avec les auxiliaires, la recherche s'est orientée vers des alternatives durables.

Plusieurs études ont montré que certaines méthodes de lutte utilisées seules ou en combinaison permettraient de lutter efficacement contre le ravageur. Notre étude se propose de faire une investigation des méthodes alternatives de lutte contre *T. absoluta*. Elle a l'intention de :

- Répertorier les différentes méthodes alternatives de lutte ;
- Faire ressortir les méthodes de lutte qui sont efficaces seules ou en combinaison avec d'autres méthodes alternatives ;
- Analyser les possibilités d'utilisation des alternatives jugées efficaces au Burkina Faso.

Cette revue bibliographique est une recherche globale des méthodes alternatives de lutte promues en vue d'asseoir des programmes de recherche durable et écologique pour réduire l'utilisation des

pesticides chimiques et limiter l'incidence de la mineuse sur la production de tomate en Afrique et particulièrement au Burkina Faso.

2.1. Méthodes

Nous avons effectué une recherche documentaire des alternatives ayant fait l'objet de publication. Nous avons considéré six méthodes alternatives potentielles en nous inspirant de l'étude réalisée par Jactel et al., (2019) sur les alternatives aux néonicotinoïdes.

La base de données SCOPUS a été principalement utilisée afin d'exploiter les articles évalués par les pairs. Des questions de recherche ont été formulées sur la base des méthodes alternatives potentielles. Chaque question a été précédée de ("*Tuta absoluta*" OR "*Phthorimaea absoluta*" OR "*Gnorimoschema absoluta*" OR "*Scrobipalpula absoluta*" OR "*Scrobipalpuloides absoluta*" OR "*tomato leafminer*" OR "*tomato Borer*" OR "*tomato pinworm*" OR "*tomato leaf miner*" OR "*South American tomato pinworm*") AND. Les questions étaient les suivantes:

1. ("entomopathogenic fungi" OR "entomopathogenic viruses " OR " entomopathogenic bacteria" OR "entomopathogenic nematodes") ;
2. ("predators" OR "parasitoid") ;
3. ("botanical pesticide" OR "pesticidal plants" OR "insecticidal plant" OR "essential oil" OR "aqueous extract plant") ;
4. ("farming practices" OR "interrupting" OR "flower strips" OR "gras strips" OR "hedgerows" OR "windbreak" OR "beetle banks" OR "banker plants" OR "mulching" OR "soil cover" OR "crop rotation" OR "irrigation" OR "fertilization" OR "tillage" OR "moving" OR "cutting" OR "landscape planning") ;
5. ("semiochemicals" OR " mass trapping" OR " mating disruption" OR "repulsion" OR "antifeeding effects" OR " push-and-pull" OR "attract-and-kill techniques" OR "trapping plants") ;
6. ("Physical methods" OR "including uprooting" OR "pruning" OR "cutting of plants" OR "use of mineral" OR "organic oils").

Les résumés des articles obtenus pour chaque question de recherche ont fait l'objet de lecture pour ne retenir que ceux qui ont un lien direct avec le thème.

Dans l'optique d'identifier des alternatives susceptibles de remplacer les pesticides chimiques dans le contexte burkinabè, une évaluation de tous ces articles a été faite. Quatre critères ont été utilisés en adaptant les critères de classification de Jactel et al., (2019). Il s'est agi de l'Efficacité (E), de l'Applicabilité (A), de la Durabilité (D) et de la Praticabilité (P). A chaque critère, une note allant de 1 à 3 a été attribuée. A l'efficacité, E, a été attribuée la note de 1 si la méthode alternative a produit une réduction marginale de la population du ravageur et n'a pas empêché la perte de rendement. Elle a reçu comme note 2 si la population du ravageur ou les dégâts ont diminué mais les pertes de rendement ont persisté et la note de 3 si l'alternative a diminué la population du ravageur ou les dommages et empêché la perte de rendement. L'applicabilité, A, a reçu la note de 1 si la méthode alternative était encore au stade de la recherche et du développement, celle de 2 si elle était déjà utilisée quelque part dans le monde et 3 comme note si elle est déjà utilisée au Burkina Faso et si le risque de développement de résistance est faible. La durabilité, D, a reçu comme notes 1 ; 2 ou 3 selon que les chances d'adoption de la méthode étaient faibles, moyennes ou élevées au regard de son coût et des pratiques agricoles au Burkina Faso. La praticabilité, P, était notée 1 ; 2 ou 3 si la méthode était difficile (techniquement complexe ou nécessitant un travail supplémentaire), modérément difficile ou facile à mettre en œuvre par les producteurs. Aucun score n'a été attribué si nous ne disposons pas d'informations pratiques ou si des données scientifiques étaient indisponibles pour évaluer la technologie.

Les méthodes alternatives utilisées seules ou en combinaison qui ont obtenu au moins la note d'Efficacité de 2 et d'Applicabilité de 2 ont été jugées capables de se substituer aux pesticides chimiques. Ces alternatives ont ensuite été codées (annexe) pour faciliter leur regroupement. Les alternatives jugées efficaces et applicables ont subi une Analyse en composante principale (ACP) à l'aide du logiciel SPSS statistics 22 pour les classer en fonctions de quatre critères (E, A, D et P) et faciliter leur analyse critique. Pour orienter les recherches futures, les méthodes alternatives ayant obtenu la note d'Efficacité de 3 et d'Applicabilité de 1 ont aussi été analysées et classifiées.

2.2. Résultats

2.2.1. Historique et évolution de la recherche des méthodes alternatives

Depuis la signalisation de populations de *T. absoluta* résistantes aux pesticides dans les années 1980 en Amérique latine, il a fallu attendre 1997, soit plus d'une décennie après, pour voir la première publication sur les alternatives à la lutte chimique de synthèse contre le ravageur au

Brésil. En Amérique latine, le Brésil est demeuré pendant plus de 12 ans (1997 à 2009) le seul pays à investir dans la recherche d'alternatives à la lutte chimique de synthèse. D'autres pays comme l'Uruguay, l'Argentine et la Colombie ont respectivement produit leurs premières publications sur le sujet en 2012, 2013 et 2014. Après l'invasion du vieux continent à partir de l'Espagne en 2006, ce n'est qu'en 2010 que ce dernier pays a publié ses premiers résultats. L'Espagne a été suivie par l'Italie et la France en 2011, les Pays-Bas en 2012. En Afrique, le Maroc et l'Algérie ont produit leurs premières publications à partir de 2012, quatre ans après la première signalisation du ravageur au Maroc en 2008. En Asie, l'Iran a été le pionnier à partir de 2012, suivi du Qatar en 2013, de la Chine en 2016 et du Koweït en 2020.

L'évolution de la recherche sur les alternatives aux pesticides de synthèse dans la lutte contre *T. absoluta* est positivement corrélée ($r = 0,86$) à la dynamique d'expansion du ravageur à travers le monde. Cependant, un déphasage est observé entre les premières signalisations et les recherches de solutions alternatives.

Tirant des leçons de ces expériences, certains pays comme la Chine, les Etats-Unis et la Belgique se préparent à faire face à une éventuelle invasion. La première publication de ces pays remonte à 2013 pour la Belgique, 2014 pour les Etats-Unis et 2016 pour la Chine.

La recherche des alternatives aux pesticides chimiques de synthèse s'est accentuée au cours de la dernière décennie pour lutter contre *T. absoluta*. De 1997 à 2009, sur 10 articles publiés, neuf provenaient du Brésil. A partir de 2010, au moins une publication scientifique par an est faite sur le sujet (Figure 2). L'année 2019 a connu le plus grand nombre de publications avec 19, 8% ($n = 23$).

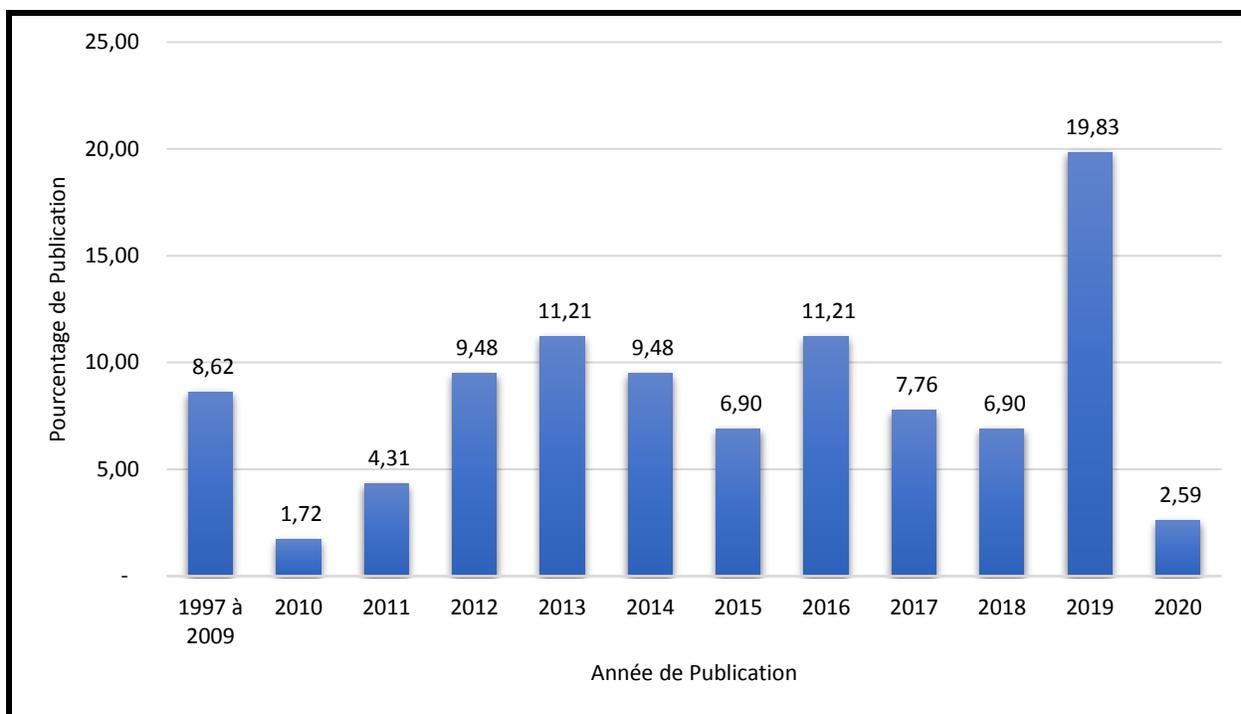


Figure 2 : Répartition annuelle des publications sur les alternatives à la lutte chimique

Cependant, le continent européen se classe en première position avec 34% (n=40) du nombre de publications (Figure 3). Il est suivi du continent américain avec 27% (n=31), de l’Afrique (25% ; (n=29) et de l’Asie avec seulement 14% (n=16) des publications.

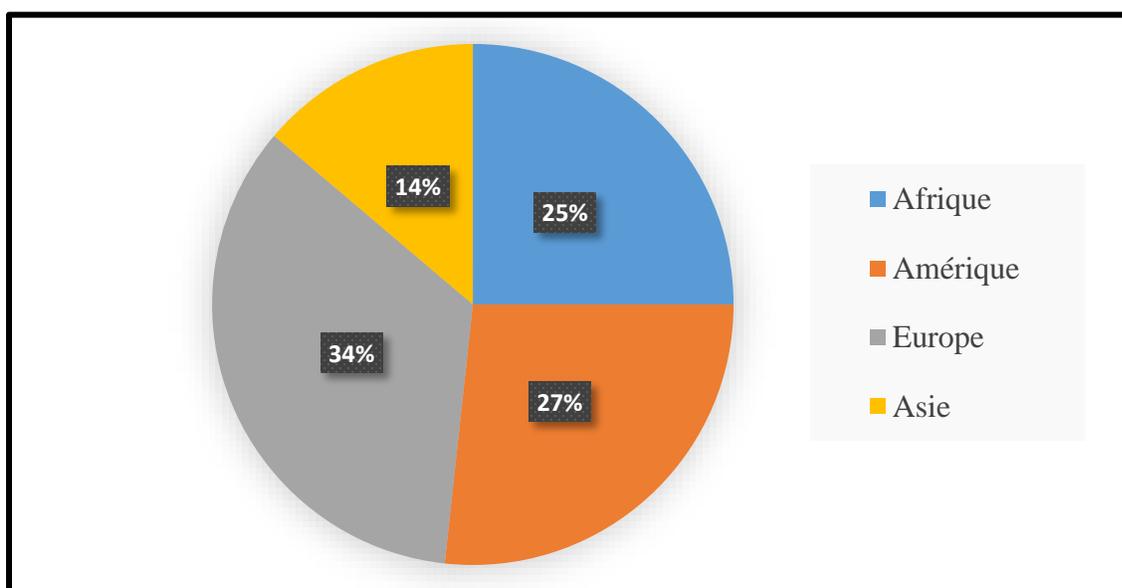


Figure 3 : Répartition des publications sur les alternatives à la lutte chimique par continent

2.2.2. Méthodes alternatives de lutte aux pesticides chimiques de synthèse

Au total, 116 articles qui traitent des méthodes alternatives de lutte contre *T. absoluta* ont été publiés entre 1997 et avril 2020. La répartition des différentes méthodes de lutte est présentée à la figure 4. Il ressort de cette figure que la lutte biologique avec 55% (n=66) est la méthode qui a attiré le plus l'attention des chercheurs. Elle est suivie de la lutte sémiochimique avec 18% (n=22), des pesticides alternatifs (n=12) et de la lutte génétique (n=8). En revanche, peu de publications ont été faites sur la lutte culturale (5% ; n= 5) et la lutte physique (2% ; n=3).

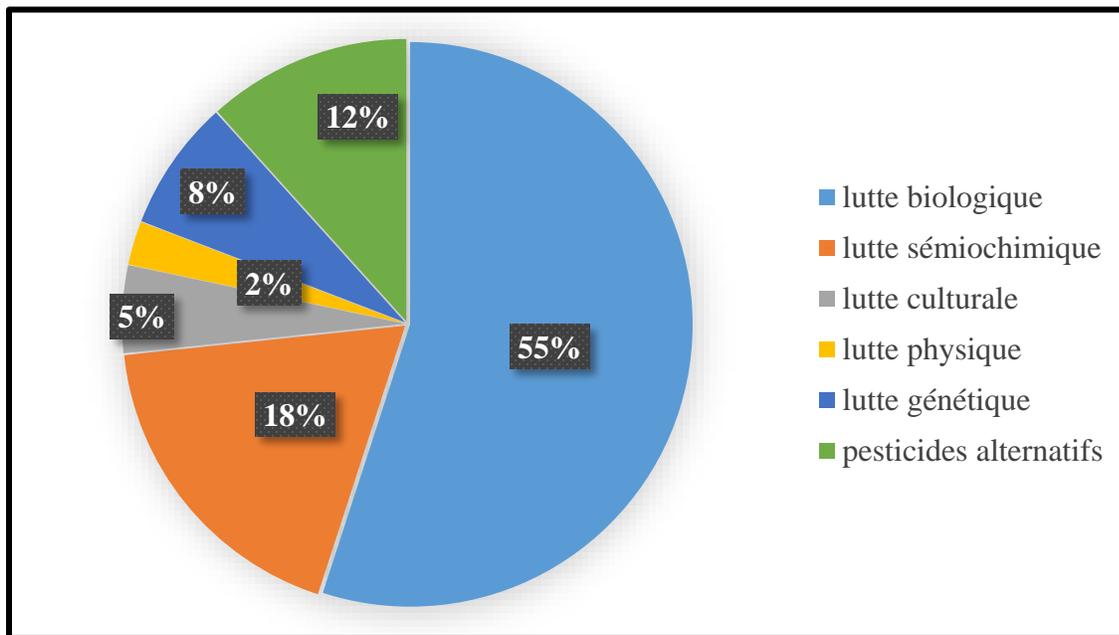


Figure 4 : Répartition des différentes alternatives à la lutte chimique traitées par les différents articles publiés

2.2.3. Méthodes alternatives à la lutte chimique de synthèse

2.2.3.1. Lutte biologique

- Macro-organismes

La lutte biologique par l'utilisation d'auxiliaires naturels est considérée comme l'une des options de lutte les plus prometteuses contre *T. absoluta*. À l'échelle mondiale, plus de 160 espèces d'ennemis naturels sont associées à ce ravageur (Lenteren et al., 2019), tant dans sa zone d'origine que d'introduction (Ferracini et al., 2019). Dans la zone Afro-Eurasienne, plus de 70 espèces d'arthropodes, à savoir 20% de prédateurs et 80 % de parasitoïdes, s'attaquant au ravageur ont été

inventoriées (Zappalà et al., 2013). Parmi les ennemis naturels indigènes inventoriés, seules quelques espèces de parasitoïdes, à savoir des *Eulophidae*, les *Braconides* et en particulier les prédateurs *Miridae* ont des potentialités pour être intégrés dans les programmes de gestion efficace dans les zones envahies par le ravageur (Zappalà et al., 2013).

Des études menées au laboratoire, en serre et en plein champ ont rapporté la capacité des prédateurs indigènes et généralistes comme *Nesidiocoris tenuis* et *Macrolophus pygmaeus* (Rambur) à réduire significativement la population de *T. absoluta* par la prédation des œufs et des jeunes larves (Abbes et al., 2012 ; Chailleux et al., 2013 ; Mirhosseini et al., 2020). Ces prédateurs, en association avec certains parasitoïdes ou introduits seuls précocement en serre ou à la transplantation en plein champ avant l'établissement du ravageur, permettent de réduire les dégâts et d'augmenter les rendements (Abbes et al., 2012 ; Chailleux et al., 2013 ; Calvo et al., 2016 ; Mohammad et al., 2019 ; Mirhosseini et al., 2020.). Une introduction de *N. tenuis* en pépinière à, Almeria, en Espagne, durant la campagne 2010-2011 a permis une protection efficace de 300 ha de tomate sous serre et de 3500 ha durant la campagne 2011-2012 (Urbaneja et al., 2012). La dose efficace en stratégie inondative sous serre est de 2 adultes par mètre carré (Mirhosseini et al., 2020). En plein champ, un lâcher augmentatif à la dose de 8000 individus par ha soit 0,8 individus par mètre carré, permet d'obtenir les mêmes résultats (Abbes et al., 2012). Des formulations commerciales existent et sont vendues sous le nom commercial de Nesibug dans des bouteilles de 500 unités contenant chacune des larves et des adultes conservés au froid. Quant à *M. pygmaeus* (Rambur), il est commercialisé par la société Agrobio S.L. sous la dénomination commerciale MACROcontrol dans au moins 19 pays de l'Union européenne.

Dans la lutte biologique avec les parasitoïdes, le genre *Trichogramma* est le plus expérimenté et le plus utilisé. En serre, le parasitoïde des œufs *Trichogramma achaeae* est le plus utilisé. Selon Cabello et al., (2009), son taux de parasitisme est supérieur à 90 % et il est commercialisé en Europe et en Afrique du Nord pour d'autres programmes de lutte biologique. Par inondation, il est recommandé, en fonction du niveau d'infestation, des lâchers de 250 000 à 1000 000 d'adultes par ha et par semaine avec 100 points de libération par ha (Urbaneja et al., 2012). En Egypte, des lâchers en plein champ de *Trichogramma cacaeciae* à la dose de 60000 à 100000 parasitoïdes par semaine pour 4200 m² et de 1200 *Trichogramma evanescens* pour 4200 m², en association avec le piégeage de masse respectivement, permettent de réduire la pression du ravageur (Meabed et al., 2015 ; Goda et al., 2015). En revanche, l'association des parasitoïdes aux prédateurs a produit des

résultats mitigés (Chailleux et al., 2013a ; Chailleux et al., 2013b). L'évaluation de l'efficacité des parasitoïdes larvaires est au stade de laboratoire et *Bracon nigricans*, *Necremnus artynes*, *Necremnus tutae* sont des candidats potentiels pour lutter efficacement contre *T. absoluta* (Ferracini et al., 2019).

Pour réduire les coûts d'élevage et ceux de production en plein champ dans les pays en voie de développement, la recherche doit s'orienter vers la stratégie de lutte par conservation.

- **Micro-organismes**

La lutte biologique contre *T. absoluta* avec des microorganismes a connu un certain succès avec la disponibilité de certaines formulations commerciales d'entomopathogènes introduits dans plusieurs programmes de lutte. Des bactéries, des champignons, des nématodes et des virus ont attiré l'attention des chercheurs pour leur effet biocide. Dès 2001, le Brésil a mené avec succès les premiers essais d'efficacité au laboratoire avec Biobit HPWP (5062 -32.000 IU. mg⁻¹), formulation commerciale de *B. thuringiensis* var. kurstaki (Btk) (Giustolin et al., 2001). Cet entomopathogène, l'unique bactérie exploitée, a été la base de la lutte biologique dès l'introduction du ravageur en Europe en 2006. Des tests au laboratoire, en serre et en plein champ ont montré la capacité du *B. thuringiensis* à réduire la pression du ravageur (González-Cabrera et al., 2011 ; Jamoussi et al., 2013 ; Sellami et al., 2014 ; Dammak et al., 2016). Les larves du premier stade sont les plus sensibles et l'application de *B. thuringiensis* qui, seule peut remplacer l'utilisation des pesticides (González-Cabrera et al., 2011). Le nombre de traitements pourrait diminuer lorsqu'elle est combinée à d'autres technologies de lutte biologique comme les prédateurs *Miridae*.

Parmi les champignons, trois espèces font l'objet de recherche d'alternatives aux pesticides. Il s'agit de *Beauveria bassiana*, de *Metarhizium anisopliae* et de *Aspergillus oryzae*. Des isolats de *M. anisopliae* de 10⁶ ou 10⁸ spores.ml⁻¹ en application foliaire ont montré leur virulence sur les œufs, les larves de premier et de deuxième stade avec des taux de mortalité atteignant 60 à 80% (Rodriguez et al., 2006 ; Pires et al., 2009 ; Pires et al., 2010). Une formulation commerciale appliquée avec l'eau d'irrigation à 5,58 10⁹ conidies viables par litre a été toxique pour les chrysalides (Contreras et al., 2014). Outre *M. anisopliae*, une application foliaire de la formulation commerciale de *B. bassiana* a provoqué la mortalité de 90 à 100% des larves au laboratoire et de 46 à 75% en serre (Kleiber et Reineke, 2016 ; Abd El-Ghany et al., 2018). En plein champ, des isolats de souches locales syriennes ont permis de réduire le taux d'infestation de 30% et les pertes

de 44 % (Al Eisa et al., 2017). Par ailleurs, une souche indigène tanzanienne de l'espèce *A. oryzae* à la concentration de 10^8 conidies.ml⁻¹ a induit une mortalité larvaire de 70% 3 jours après inoculation, inhibé la nymphose de 84,5% et l'émergence des adultes de 74,4% (Never et al., 2019). Ces dernières années, la recherche s'est orientée vers les nématodes avec l'identification de deux genres (*Heterorhabditis* et *Steinernema*) comme meilleurs candidats à la lutte biologique. Au laboratoire, des souches locales de *H. amazonensis* JPM4, *S. yirgalemense*, *S. feltiae* et *S. feeliae* ont montré leur efficacité vis-à-vis des larves et des chrysalides (Van Damme et al., 2016 ; Guevara et al., 2019 ; Marzieh et al., 2019 ; Bonginkhosi et al., 2020). Des essais au laboratoire (20 à 50 IJs/cm²), en serre (150 à 1000 IJs.ml⁻¹) de formulation commerciale et d'isolats de souches locales ont induit des mortalités larvaires de 89 à 100% et 12,9 à 50%, respectivement au laboratoire et en serre (Batalla-Carrera et al., 2010 ; Garcia-del-Pino et al., 2012 ; Al-kazafy et al., 2016 ; Kamali et al., 2017 ; Ndereyimana et al., 2019).

2.2.3.2. Lutte sémio-chimique

La lutte sémiochimique est une méthode alternative aux pesticides respectueuse de l'environnement. Elle est basée sur l'utilisation de phéromones sexuelles naturelles ou synthétiques qui sont des signaux émis par la femelle en vue de l'accouplement. Elles ont l'avantage d'être spécifiques, actives en de petites quantités et en majorité ne sont pas connues pour être toxiques pour les animaux (Witzgall et al., 2010). Chez *T. absoluta*, la phéromone sexuelle généralement utilisée est l'acétate 3E, 8Z, 11Z (3, 8,11-tétradécatriène-1-yle ou TDTA), composé majeur à 90% et l'acétate de 3E, 8Z (3,8-tétradécadiène-1-yle ou TDDA), composé mineur à 10% (Michereff et al., 2000 ; Cocco et al., 2013 ; Jallow et al., 2020).

Après la surveillance de l'évolution des populations de *T. absoluta* en serre et en plein champ, deux stratégies sont généralement mises en œuvre contre la mineuse: la perturbation de l'accouplement et le piégeage de masse.

La perturbation de l'accouplement est une technique qui vise à créer une confusion sexuelle chez les mâles en saturant l'atmosphère d'une phéromone femelle synthétique afin d'empêcher l'accouplement du ravageur et, par conséquent, de réduire la population du ravageur (Cocco et al., 2013). Plusieurs études sur l'utilisation de la confusion sexuelle comme méthode de lutte ont produit des résultats peu satisfaisants (Coco et al., 2013 ; Abbes et Chermiti 2014 ; Carvalho et al.,

2018). En serre, les résultats dépendent du niveau de confinement de la serre, de la dose de phéromone sexuelle, du nombre de diffuseurs utilisés et du niveau d'infestation (Wang et al., 1997 ; Vacas et al., 2011 ; Cocco et al., 2013 ; Jallow et al., 2020). Une étude conduite par Vacas et al., (2011) en serre à différents niveaux de confinement avec des diffuseurs d'une densité de 500 à l'ha a montré que les serres à haut niveau de confinement avec une diffusion constante de 30g. ha⁻¹ pendant 4 mois contrôlaient efficacement *T. absoluta*. Cette efficacité a été confirmée par Cocco et al., (2013) ; Jallow et al., (2020) avec une dose de 60g. ha⁻¹ (diffuseurs chargés de 60 mg de phéromone sexuelle à une densité de 1 000 diffuseurs. ha⁻¹ placés à 1,5 m du sol et espacés de 4 m). L'utilisation d'une telle dose permet de réduire les captures de mâles de 90%, le niveau d'infestation de 57 à 85%, les dégâts de 62 à 89% et les pertes (Cocco et al., 2013 ; Jallow et al., 2020). Ces résultats sont comparables à ceux obtenus avec des pesticides chimiques de synthèse (Jallow et al., 2020). En revanche, en plein champ, une densité de 2500 diffuseurs de 35 à 50 g.ha⁻¹ de phéromones sexuelles, espacé de trois mètres à l'intérieur de la rangée et de deux mètres entre les rangées, n'a pas permis de réduire de manière significative les dégâts (Mircheff et al., 2000).

La méthode de piégeage de masse est une technique qui consiste à utiliser une forte densité de pièges appâtés aux phéromones et placés à des endroits stratégiques dans une culture (Jones, 1998 cité par Caparros et al., 2013). En serre comme en plein champ, différents types de pièges sont utilisés et l'efficacité de la technique dépend du piège, de la capsule et la densité par unité de surface. La densité des pièges varie de 20 à 25 pièges par ha en culture sous serre et de 40 à 50 pièges par ha en plein champ lorsque la technologie est utilisée seule (Lobos et al., 2013 ; Aksoy et Kovanci, 2016). En combinaison avec d'autres technologies comme les parasitoïdes ou les bio pesticides, le nombre de pièges à l'ha varie de 10 à 12 (Abbes et al., 2012 ; Goda et al., 2012). Parmi les pièges les plus utilisés, on rencontre les pièges à eau, les pièges delta, les pièges à cuvette, les pièges à férolite et les pièges à rouleau (Osman 2015 ; Aksoy et Kovanci 2016 ; Polat, 2019). Les pièges à eau équipés d'une phéromone sexuelle commerciale TUA-OPTIMA (0.8 mg) à une densité de 32 pièges par ha permettent de réduire significativement le taux d'infestation en plein champ (Chermiti et al., 2012 ; Chidege et al., 2018). Leur efficacité est améliorée lorsque le nombre de pièges atteint 48 à l'ha et l'eau associée à l'huile de vidange ou végétale (Abbes et al., 2012 ; Lobos et al., 2013). Dans ce cas, les pièges sont chargés de 0,5 mg de phéromone par piège et placés dans la direction du vent aux abords du champ (Lobos et al., 2013). Même lorsque les captures initiales dans les pièges de surveillance étaient élevées (35 par piège jour⁻¹), le piégeage

de masse à 48 pièges ha⁻¹ a permis de réduire les dégâts et est économiquement viable (Lobbos et al., 2013). Les pièges à eau équipés de phéromones sexuelles et du LED de 470 nm permettent de capturer aussi bien les mâles que les femelles de *T. absoluta* avec des résultats comparables aux traitements insecticides (Aksoy et Kovanci 2016 ; Castresana et Pulh, 2017). Actuellement, les pièges à ferolite de couleur noire ou blanche semblent encore plus efficaces que ceux à eau (Polat, 2019).

2.2.3.3. Lutte physique

La lutte physique peut être définie comme l'utilisation de méthodes non chimiques ou biologiques (organismes vivants) permettant de perturber la physiologie ou le comportement d'un organisme indésirable par le biais de différents stimuli d'origine physique, afin d'en diminuer la présence dans une zone à protéger. La lutte physique a été à la base de la réussite du plan stratégique de lutte contre la mineuse de la tomate au Maroc en 2011 (Ouardi et al., 2012). Selon les mêmes auteurs, la mise en œuvre de cette stratégie en plein champ a consisté en la destruction des résidus de culture, en l'élimination des mauvaises herbes hôtes de *T. absoluta*, en un labour profond, en l'élimination et en la destruction des organes atteints et des débris végétaux ainsi qu'au brûlage des restes de tomate en fin de culture. Sous serre, il importe une bonne préparation du sol, un aménagement d'un système de double porte, l'entretien de l'étanchéité des serres, le maintien des serres bien propres, l'emploi d'un vide sanitaire de la serre pendant six semaines et l'emploi d'un paillage intégral du sol (Ouardi et al., 2012). Aux Canaries, des études récentes ont montré que le chauffage des serres en période hivernale à l'aide d'un système solaire passif induit une augmentation de la température nocturne de 2 à 3,1°C et une diminution de l'humidité relative de l'air de 10% avec pour conséquence une réduction de la population de *T. absoluta* (Gourdo et al., 2019 ; Bazgaou et al., 2020). Cependant, aucune évaluation de l'incidence des stratégies physiques déployées sur la réduction des dommages et des pertes n'a été enregistrée.

2.2.3.4. Lutte culturale

L'efficacité de la lutte culturale comme alternative aux pesticides chimiques dépend des pratiques agronomiques (Han et al., 2019). Les variations des apports d'eau et le niveau de fertilisation peuvent influencer le niveau de développement de *T. absoluta* (Han et al., 2019). La réduction des apports d'eau d'irrigation réduit significativement la survie, le poids pupal et ralentit le

développement larvaire du ravageur (Han et al., 2014, 2016). De même, un apport raisonné de la fertilisation azotée réduit la survie des larves et retarde leur développement (Larbat et al., 2016 ; Blazhevski et al., 2018). L'effet négatif des pratiques est attribué à la faible teneur en protéines (rapport C/N foliaire plus élevé) et à l'accumulation accrue des composés phénoliques constitutifs et des glyco-alcaloïdes dans les feuilles (Larbat et al., 2016 ; Han et al., 2016).

En outre, la culture associée de la tomate avec de la coriandre et intercalaire avec du sain foin a produit des résultats satisfaisants. En effet, les proportions une ligne de tomate sur deux lignes de sain foin et deux lignes de tomate sur deux lignes de sain foin (1T:2S et 2T:2S) ont été efficaces contre la mineuse de la tomate (Zarei et al., 2019).

2.2.3.5. Lutte génétique

La lutte génétique contre *T. absoluta* est orientée vers le développement de cultivars résistants. Les cultivars, s'ils étaient disponibles, offriraient aux agriculteurs une mesure de contrôle supplémentaire qui pourrait être utilisée avec la lutte biologique et d'autres méthodes de lutte (Peixoto et al., 2019). Les cultivars résistants à la mineuse sont au stade de recherche/développement. Cette recherche exploite des espèces sauvages dont la résistance est basée sur des gènes producteurs de composés de défense tels que les alcaloïdes, les composés phénoliques et les terpènes et qui ont disparu avec la tomate cultivée (Bleekera et al., 2012). Le premier centre d'intérêt de la recherche était la densité des trichomes glandulaires, surtout les trichomes de type VI (Leite et al., 2001). Ces trichomes produisent des composés insecticides et répulsifs efficaces contre *T. absoluta*. En serre et en plein champ, certains cultivars commerciaux ont montré leur résistance à *T. absoluta* (Gharekhani et Salek-ebrahimi, 2014 ; Fariba et al., 2016). Cependant, les essais d'amélioration variétale ont conduit à une diminution des rendements (Guedes et Picanco, 2012). Des essais allélochimiques sont actuellement en cours avec les acylsucres comme centre d'intérêt (Dias et al., 2013 ; Peixoto et al., 2019).

2.3.4.5. Pesticides alternatifs

L'utilisation des insecticides naturels constitue une alternative plus sûre aux pesticides chimiques pour contrôler les nuisibles. Ils sont considérés comme écologiques et facilement dégradables (Mossa, 2016 ; Nollet et Rathore, 2017 cité par Soares et al., 2019). Ils sont d'origine végétale et utilisés sous la forme d'huile essentielle, d'huile végétale, d'extraits aqueux, d'extraits

méthanoliques et de formulations émulsifiables (EC). Ces pesticides appliqués en pulvérisation directe ou par fumigation ont des propriétés ovocides et larvicides. Ils agissent par contact, par ingestion et par inhalation. Pour lutter contre *T. absoluta*, la capacité insecticide des huiles essentielles d'extrait des plantes locales ou en formulation commerciale a été évaluée au laboratoire et en serre avec des résultats mitigés. L'efficacité dépend de la famille de la plante et du type d'extrait utilisé. En Iran, une expérience menée au laboratoire en utilisant l'huile essentielle d'un *Zingiberaceae* (*Elettaria cardamomum*) sur la mineuse a donné des CL50 de 351,19 ; 7,88, 1,55 et 1,88 μl d'air L^{-1} respectivement sur les œufs, les larves libres et dans les galeries et les adultes (Chegini et al., 2017). En revanche, ces CL50 sont respectivement de 60,26 ; 4,44 ; 1,26 et 1,38 L^{-1} d'air pour l'huile essentielle d'un *Lamiaceae* (*Zataria multiflora*) (Chegini et al., 2018). Par ailleurs, il s'est révélé que l'huile essentielle de *Thymus capitatus* (*Lamiaceae*) et *Tetraclinis articulata* (*Cupressaceae*) à 0,2 μl ml^{-1} d'air ont induit une mortalité de 80% des larves de tous les stades et de 100% de celles du premier stade après une heure d'exposition (Bouayad Alam et al., 2017). L'huile essentielle des peaux d'agrumes en application foliaire a donné des résultats similaires après 72 heures avec une concentration de 40 $\text{mg}\cdot\text{ml}^{-1}$ (Campolo et al., 2017). En serre, l'huile essentielle Prev-am® (ORO AGRI International Ltd), en traitement foliaire, a donné des résultats comparables à lambda-cyhalothrin pour la réduction de la population de *T. absoluta*. Cette réduction est beaucoup plus élevée lorsqu'elle est appliquée à la demi-dose recommandée (10% soit 0,024 g a.i. L^{-1}) associé au prédateur généraliste *N. tenuis* (Ndereyimana et al., 2019).

En outre, *in vitro*, des extraits méthanoliques de plantes marocaines comme *Thymus vulgaris* (*Lamiaceae*), *Ricinus communis* (*Euphorbiaceae*), *Peganum harmala* (*Nitrariaceae*) et *Urtica dioica* (*Urticaceae*) ont provoqué un taux de mortalité de 97 %, 80 %, 65 % et 59 % respectivement des larves de deuxième stade de *T. absoluta* après 72 h d'exposition (Taadaouit et al., 2012). Des résultats similaires ont été obtenus par Campolo et al., (2017) avec des huiles végétales. Des formulations émulsifiables d'Azadirachtine (*Meliaceae*) et d'orange (agrumes) induisent des mortalités larvaires de 70 à 80 % (Abd El-Ghany et al., 2018 ; Campolo et al., 2017). En conditions naturelles (plein champ), les extraits aqueux de *Caesalpinaceae*, de *Lamiaceae*, d'*Apiaceae*, de *Meliaceae* et de *Caesalpinaceae* ont produit des résultats probants.

2.2.4. Alternatives aux pesticides chimiques dans la lutte contre *T. absoluta* dans le contexte du Burkina Faso

Les différentes alternatives aux pesticides chimiques de synthèse dans la lutte contre *T. absoluta* à travers le monde ont été analysées et classifiées en fonction de quatre critères (Figure 5). Cette figure montre que l'efficacité et l'applicabilité sont positivement corrélées à l'axe 1 qui participe à 32,8 % de la variance totale avec respectivement $r = 0,8$ (efficacité) et $0,7$ (applicabilité). En revanche, la praticabilité et la durabilité sont corrélées positivement à l'axe 2 qui participe à 64,8 % avec respectivement $r = 0,7$ (praticabilité) et $0,8$ (durabilité). A partir de ces corrélations, la dispersion des alternatives sur le plan factoriel ou plan de dispersion a été regroupée en quatre parties.

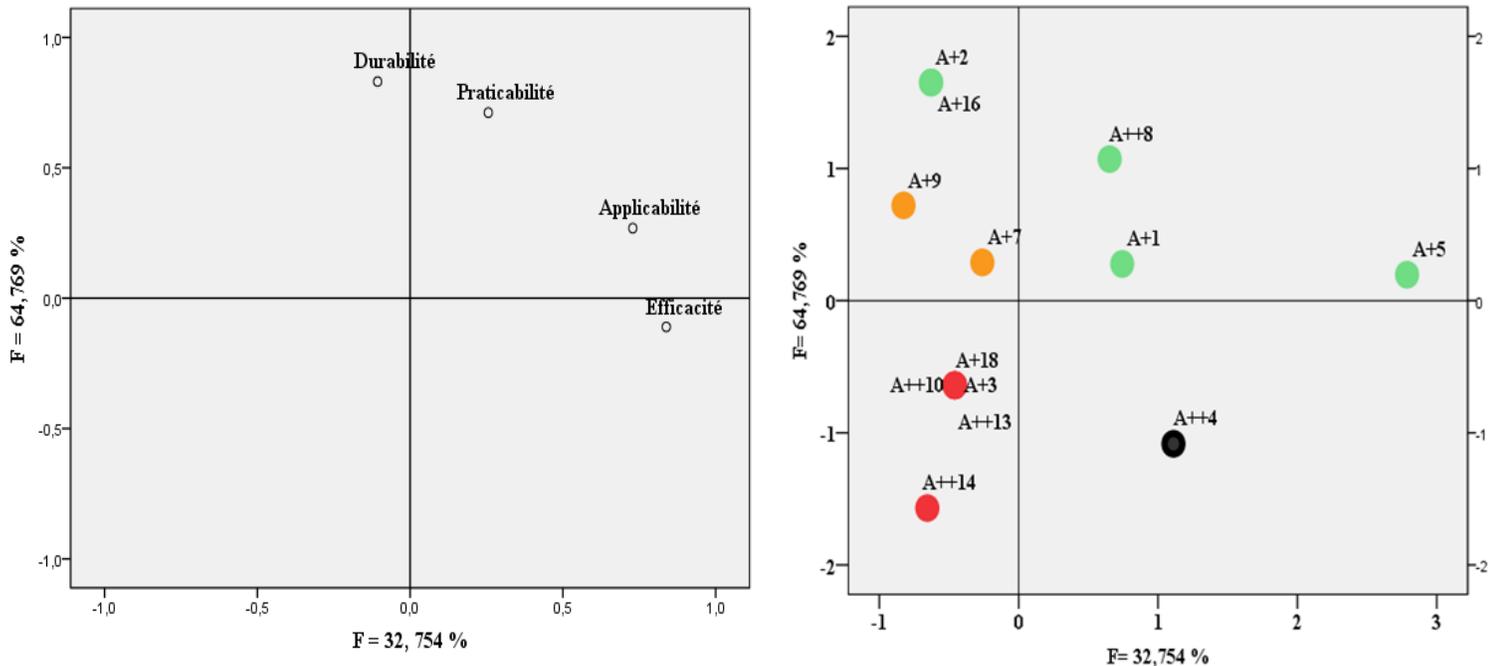


Figure 5 : Groupes d'alternatives efficaces de lutte contre *T. absoluta*

De cette figure 5, quatre groupes se distinguent :

- Le premier groupe en vert : il s'agit de **A+5** (piégeage de masse avec 48 pièges à eau ha^{-1}), **A+1** (utilisation du *Bacillus thuringiensis*), **A++8** (pratiques culturales plus libération de *N. tenuis* plus piégeage de masse), **A+16** (extraits de feuilles de *Copaifera langsdorffii*)

(*Caesalpinaceae*) à 5 %) et **A+2** (piégeage de masse avec 40 pièges delta ha⁻¹). Ces cinq alternatives sont efficaces, applicables, durables et praticables au Burkina Faso ;

- Le deuxième groupe en orange : **A+7** (pièges de masse avec pièges delta en serre) et **A+9** (pièges de masse avec 32 pièges à eau ha⁻¹ en serre) qui sont efficaces mais ne sont pas praticables au Burkina Faso ;
- Le troisième groupe en rouge : **A+3** (perturbation d'accouplement) ; **A++10** (piégeage de masse plus lâchers inondatifs de 8000 individus par hectare de *N. tenuis*) ; **A++13** (lâchers inondatifs de *N. tenuis* + *Trichogramma* SP) ; **A++14** (lâchers inondatifs de *M. pygmaeus* + *Trichogramma* sp) ; **A++18** (lâchers inondatifs de *Necremnus tutae*), qui ne sont pas durables dans le contexte burkinabé ;
- Le quatrième groupe en noir : **A++4** (piégeage de masse avec pièges à eau + lâchers de 60000 à 100000 *Trichogramma bactrae*/4200 m²) n'est pas durable et praticable au Burkina Faso.

2.3. Discussion

Parmi les miridés, *N. tenuis* est le plus utilisé en conditions contrôlées et en plein champ. Cependant, à forte densité et en l'absence de proies, le caractère phytophage de *N. tenuis* pourrait faire de lui un ravageur qui induirait des anneaux nécrotiques aux plantes, aux fruits et la chute des fleurs. Plusieurs programmes de lutte ont été développés contre cet auxiliaire, surtout au sud de la France. Néanmoins, en réponse à l'action alimentaire de *N. tenuis*, les plantes de tomates libèrent des composés volatils qui modulent le comportement des insectes nuisibles et des ennemis naturels. Les volatils libérés contribueraient à lutter contre les ravageurs (*Bemissia tabaci* par exemple) par leurs effets répulsifs et attractifs pour les auxiliaires tels que les parasitoïdes des aleurodes (Giorgini et al., 2019)

Certains groupes de parasitoïdes (*Trichogramma*) se sont montrés efficaces. Mais, leur établissement nécessite des lâchers répétitifs, toute chose qui induirait une augmentation du coût de la lutte. La lutte microbienne a été évaluée et repose principalement sur des souches commerciales de *B. thuringiensis* (Bt) var. kurstaki et aizawai qui sont efficaces contre les larves lorsqu'elles sont ingérées (González-Cabrera et al., 2011). Les toxines de *B. thuringiensis* ont l'avantage d'être très spécifiques (Bravo et al., 2011) et leurs formulations commerciales sélectives vis-à-vis des prédateurs et des parasitoïdes de *T. absoluta* (Biondi et al., 2013). Mais, leur

application est particulièrement avantageuse pendant la phase initiale d'établissement des ennemis naturels de la culture. Toutefois, leur efficacité est assurée à des fréquences de traitements rapprochés. Cela induirait une augmentation des doses à l'hectare et par conséquent, l'augmentation des coûts de la lutte. Par ailleurs, le développement de résistance aux toxines de *B. thuringiensis* par le ravageur pourrait limiter la durabilité de cette technologie (de Almeida Melo et al., 2014).

Le piégeage de masse réduit l'infestation de *T. absoluta* par rapport aux insecticides classiques en culture protégée et en plein champ. Cette même efficacité a été constatée avec la perturbation de l'accouplement dans des serres à haut niveau de confinement. Cependant, l'efficacité de ces technologies pourrait être influencée par la biologie du ravageur, les conditions météorologiques telles que la température, l'humidité relative et la poussière soulevée par le vent (Goda et al., 2015). Les mâles de *T. absoluta* sont capables de s'accoupler plusieurs fois au cours de leur cycle de vie adulte et il faudrait capturer un nombre important de mâles pour parvenir à une réduction du taux d'accouplement. En outre, la polyandrie des femelles et la colonisation des cultures par la migration des femelles accouplées pourraient réduire l'efficacité des technologies (Lee et al., 2014). A cela, s'ajoute la capacité de *T. absoluta* à se reproduire par parthénogénèse (Caparros Megido et al., 2012, Abbes et Chermiti 2014).

La sélection de variétés résistantes à *T. absoluta* est toujours un défi des différents programmes de sélection. Les sources de résistance les plus prometteuses restent les accessions de tomate sauvage. Cependant, la manipulation de la résistance à *T. absoluta* pourrait affecter les communications de micro et macro-organismes sur la tomate, entraînant des conséquences en cascade imprévues sur le rendement (Biondi et al., 2018). Ainsi, la faisabilité de l'intégration des variétés résistantes à *T. absoluta* à la lutte biologique dans les programmes de lutte intégrée doit être soigneusement évaluée (Peterson et al., 2016).

Une autre alternative aux insecticides chimiques conventionnels est représentée par des composés d'origine végétale de plus en plus proposés comme outils de lutte contre les parasites et les agents pathogènes (Isman, 2006 ; 2015). Si ces composés végétaux (extrait aqueux et huiles essentielles) ont l'avantage d'être moins toxiques pour l'environnement et les organismes non cible, il n'en demeure pas moins que leur formulation souvent difficile et la lenteur de leur action soient des contraintes qui limitent l'utilisation de ces biopesticides.

2.4. Perspectives

La perception des agriculteurs que les formulations de phéromones, les insecticides sélectifs et les agents de lutte biologique ont une efficacité moindre et la complexité du passage d'une lutte antiparasitaire basée sur les produits chimiques de remplacement non chimique pourraient être des obstacles à l'adoption des technologies (Miller et Gut 2015). De ce fait, les actions futures au Burkina Faso devraient viser : (i) le développement de protocoles standard et la mise en œuvre d'une production de masse de biopesticides à base d'extraits de plantes et/ou de microbes, (ii) l'identification de la densité optimale des pièges pour le piégeage de masse, (iii) l'identification potentielle de stratégies spécifiques de gestion des habitats (au sein de l'exploitation et au niveau du paysage) dans un contrôle biologique de conservation visant à accroître la présence naturelle de *N. tenuis* .

Au Burkina Faso, la recherche doit s'orienter vers des méthodes efficaces, moins coûteuses et compatibles avec les systèmes de production. Elle devrait :

- S'orienter vers les pratiques culturales susceptibles de contribuer à l'aménagement des habitats favorables au développement des ennemis naturels ;
- Evaluer l'effet de l'irrigation par aspersion sur la dynamique de la population de *T. absoluta* ;
- Identifier les nématodes indigènes dont le genre *Heterorhabditis* et *Steinernema* est le plus prometteur ;
- Exploiter l'effet insecticide des plantes locales.

Conclusion partielle

Après une phase d'utilisation exclusive des pesticides chimiques de synthèse dans la lutte contre *T. absoluta* dans chaque pays envahi par le ravageur, chacun d'entre eux s'est tourné vers une recherche de solutions de gestion durable. Les alternatives de lutte existantes contre *T. absoluta* sont loin de remplacer rapidement les pesticides chimiques de synthèse. Néanmoins, des alternatives efficaces existent et peuvent contribuer à la préservation de la santé humaine et animale et de l'environnement. Parmi les alternatives contre la mineuse, le piégeage de masse, les pratiques culturales, les pesticides alternatifs et les agents de lutte biologiques (*N. tenuis*) sont à même de remplacer les pesticides chimiques de synthèse. Dans les pays en développement où la culture maraîchère est pratiquée en milieu ouvert, l'intégration des différentes alternatives jugées efficaces pourrait contribuer à la viabilité économique de la production et assurer l'efficacité des technologies. D'une manière générale, pour faciliter l'adoption de ces alternatives, la population doit être davantage sensibilisée aux effets néfastes de l'utilisation des pesticides de synthèse et à la menace que représente le ravageur. La réussite de telles actions nécessite le soutien des pouvoirs publics à travers des subventions des technologies alternatives et la formation des producteurs.

**CHAPITRE 3: EXPÉRIMENTATIONS RELATIVES À LA
BIOÉCOLOGIE DE *N. TENUIS*, PRÉDATEUR DE *T.*
ABSOLUTA AU BURKINA FASO**

INTRODUCTION

La lutte biologique par l'utilisation de macro-organismes (prédateurs et parasitoïdes) est considérée comme l'une des options efficaces, économiques et écologiques contre *T. absoluta*. Parmi ces prédateurs, *N. tenuis* se distingue des autres par sa capacité de prédation des œufs et des larves des premiers stades du ravageur. Elle a été introduite en Sicile et en Espagne dans les cultures de tomates sous abri en tant qu'auxiliaire pour sa forte capacité prédatrice (Castané et al., 2011). Selon Garba et al., (2020), les espèces *Nesidiocoris tenuis* et *Nesidiocoris volucer* auraient été rencontrées au Burkina Faso en 1993 dans la province du Houet (Bobo Dioulasso). Avec l'invasion de *T. absoluta*, *N. tenuis* constitue un espoir pour la lutte biologique dans le cadre d'une stratégie de gestion intégrée efficace du ravageur. *Nesidiocoris tenuis* est une espèce indigène qui se développe dans toutes les zones agro-écologiques du Burkina Faso. En revanche, la méconnaissance du prédateur par les producteurs et l'utilisation abusive des pesticides chimiques limitent sa prolifération. En outre, des études ont montré la sensibilité de *N. tenuis* à plusieurs molécules chimiques et à des pesticides alternatifs (Kim et al., 2018 ; Dader et al., 2019). Il s'avère donc nécessaire de déterminer l'efficacité sélective de certains pesticides sur *N. tenuis* afin d'exploiter au mieux ses capacités de prédation. C'est dans cette optique que s'inscrit le présent chapitre intitulé « Expérimentations relatives à la bioécologie de *N. tenuis*, prédateur de *T. absoluta* au Burkina Faso ».

Il sera question de :

- Évaluer la capacité de prédation des œufs et des larves de *T. absoluta* par *N. tenuis* ;
- Évaluer la capacité de recherche de proie de la punaise *Miridae* ;
- Évaluer la sensibilité de *N. tenuis* aux pesticides par rapport à *T. absoluta* (Meyrick) ;
- Déterminer les concentrations létales (CL50) pour *N. tenuis* et pour *T. absoluta* ;
- Déterminer les insecticides efficaces contre *T. absoluta* mais compatibles avec *N. tenuis* en lutte intégrée ;
- Évaluer la capacité de développement de *T. absoluta* sur *Gynandropsis gynandra*.

3.1. Généralités sur *N. tenuis*

3.1.1. Taxonomie, origine et distribution dans le monde

Nesidiocoris tenuis (Reuter, 1895) a été décrit pour la première fois sous l'appellation *Cyrtopeltis tenuis* Reuter. En 1988, cette description est reprise par Kerzhner sous la dénomination *Nesidiocoris tenuis* Kerzhner avant que l'appellation *Nesidiocoris tenuis* (Reuter, 1895) ne soit définitivement consacrée plus tard.

Nesidiocoris tenuis, appartenant à l'ordre des hémiptères et à la famille des punaises *Miridae*, est largement répandue dans les régions paléarctiques et méditerranéennes dont elle serait originaire (Figure 6) (Kerzhner et Josifov, 1999 ; Sanchez et al., 2008 cité Par Kim et al., 2016). Cette espèce a été introduite accidentellement dans plusieurs régions du monde par le biais de l'agriculture (Yasunaga, 2000). Elle a été répertoriée en Asie, en Australie, en Europe, en Afrique du Nord et Tropicale, en Amérique du Nord, dans les îles du Pacifique et aux Antilles (Kerzhner et Josifov, 1999).

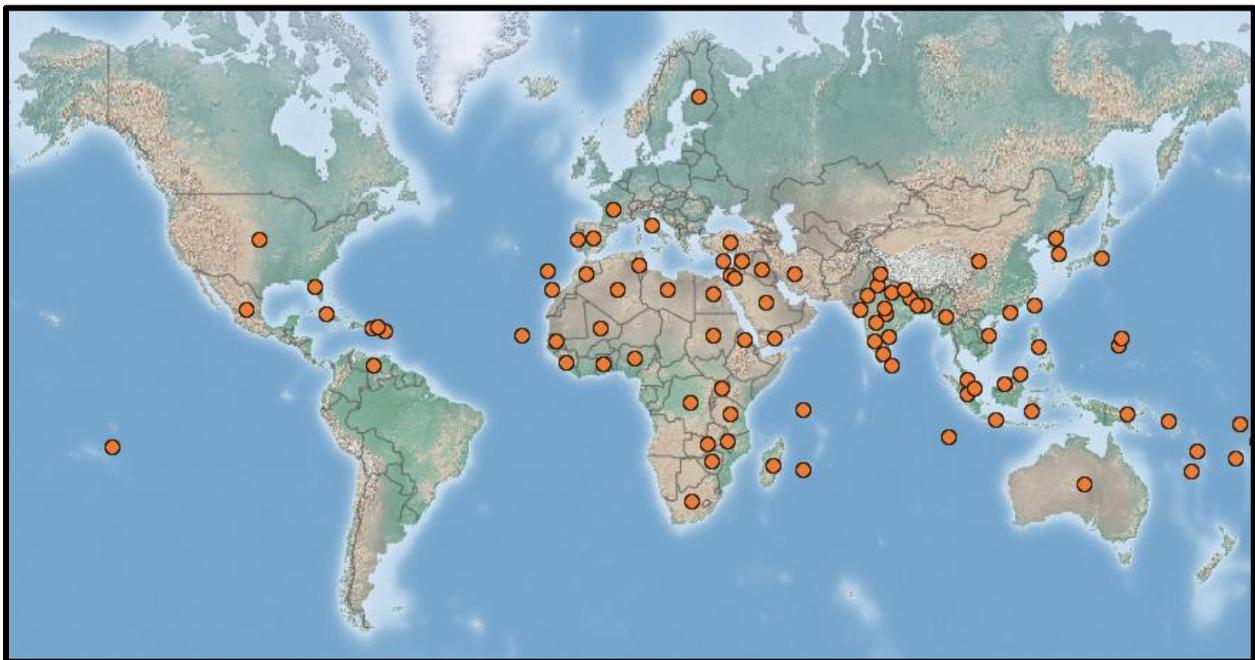


Figure 6 : World map distribution of *N. tenuis*

Source: CABI (2020)

3.1.2. Caractéristiques morphologiques

Selon Urbaneja et Pérez-Hedo, (2016), *N. tenuis* est un hémimétabole qui se développe en trois phases : l'œuf, la larve et l'adulte. L'œuf est blanc opalescent, allongé, légèrement courbé et est inséré dans l'épiderme des tiges et des feuilles (Hughes et al., 2009).

Le stade larvaire comprend en outre cinq stades qui sont L1 ; L2 ; L3 ; L4 et L5 (Figure 7). A l'émergence, les larves peuvent avoir une longueur moyenne de 1 mm, une couleur blanche immédiatement après émergence, puis deviennent jaune avec des yeux rouges. Les larves atteignent le cinquième stade avec une longueur de 2,5 mm et une coloration verte. À ce dernier stade, les ailes primordiales atteignent le quatrième segment abdominal et les organes génitaux commencent à être visibles de l'extérieur.

L'adulte de *N. tenuis* mesure entre 3,0 à 3,5 mm (Garba et al., 2020) et la femelle est sensiblement plus longue (3,22 à 3,26 mm) (Kim et al., 2018). Les adultes ont les yeux marron et les ailes ont des taches marron foncé. Les mâles diffèrent des femelles par leur abdomen plus mince et leurs organes génitaux sont un point noir à l'extrémité de l'abdomen, alors que les femelles ont un abdomen en forme de dôme et les organes génitaux en forme de T renversé (Hughes et al., 2009).

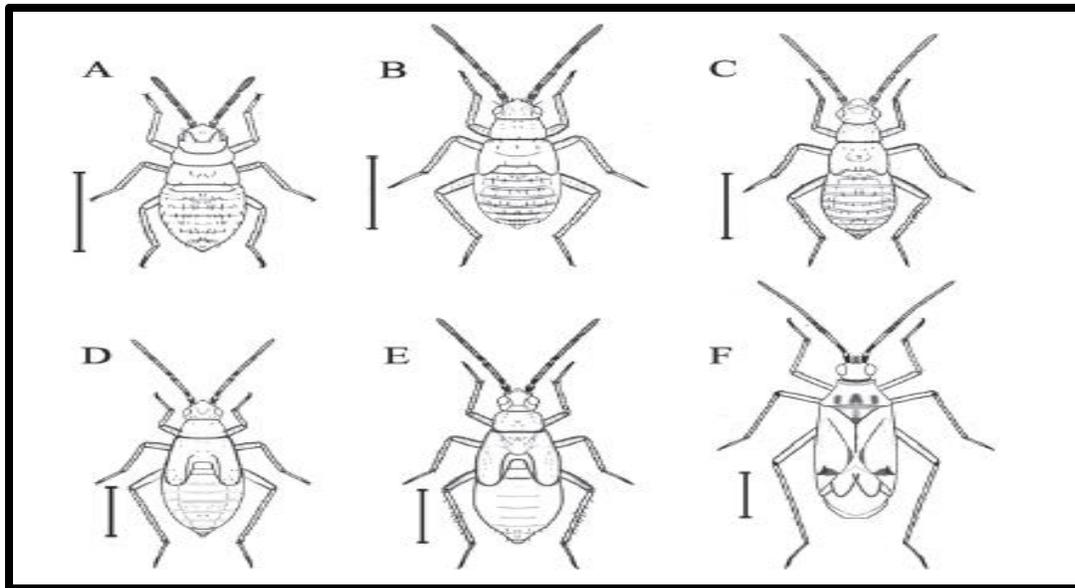


Figure 7 : Stades larvaires et adultes de *N. tenuis*

A : premier stade ; B : deuxième stade ; C : troisième stade ;

D : quatrième stade ; E : cinquième stade ; F : adulte. Barre d'échelle : 1 mm.

Source : Kim et al., (2016)

3.1.3. Cycle de vie de *N. tenuis*

Le cycle de développement de *N. tenuis* (Figure 8) est influencé par la température et le régime alimentaire.

Les températures optimales de développement du prédateur se situent entre 27 et 30°C (Martínez-García et al., 2016). Selon le même auteur, le temps d'incubation des œufs peut passer de 25,3 jours à 15°C à 7,2 jours à 35°C. De la même manière, la durée de développement des stades larvaires passe de 52,1 jours à 15°C à seulement 9,1 jours à 35°C (Gavkare et al., 2017). Plusieurs études ont montré des résultats similaires (Sanchez et al., 2009 ; Arvaniti et Perdikis, 2016).

L'alimentation impacte fortement le cycle de vie de l'insecte. Les prédateurs généralistes ont un développement plus rapide et une fécondité accrue lorsque leur régime alimentaire est diversifié (Mollá et al., 2014). *Nesidiocoris tenuis* a besoin de consommer des proies pour compléter son cycle de développement (Urbaneja et al., 2005 ; Varshney et al., 2017) mais peut aussi l'accomplir en se nourrissant exclusivement des plants de tomate (Arvaniti et Perdikis, 2016).

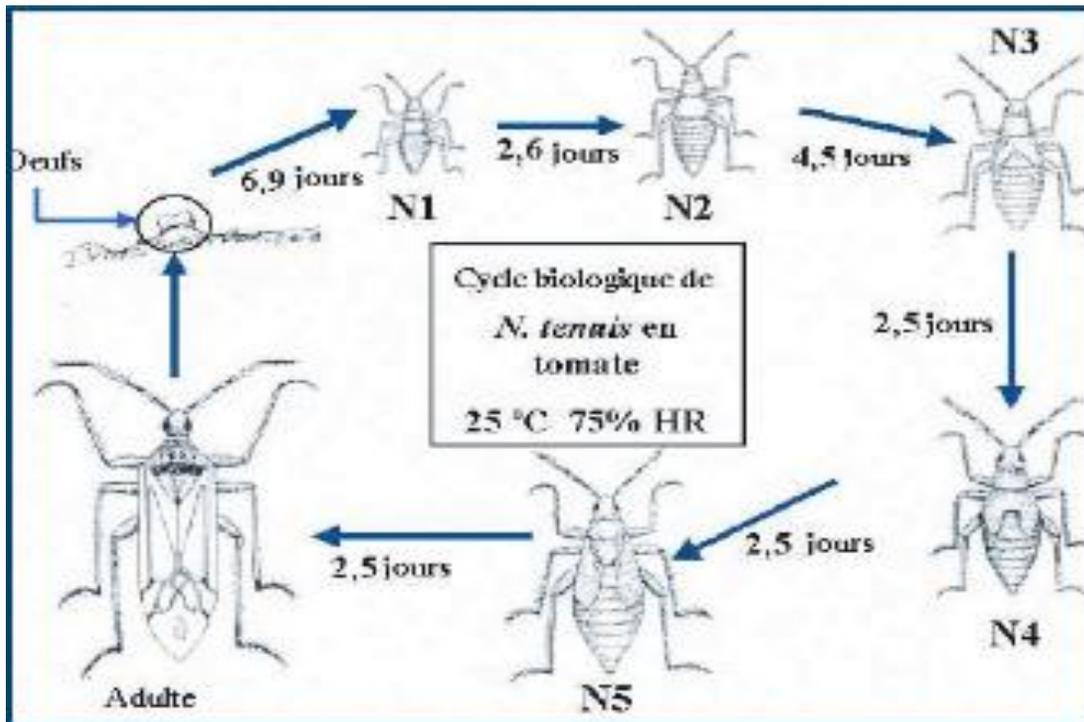


Figure 8 : Cycle de vie de *N. tenuis*
Source : Tardivel, 2005.

3.1.4. Plantes hôtes

Nesidiocoris tenuis a été signalé sur des plantes hôtes sauvages et cultivées (Tableau 1), mais il semble préférer les plantes collantes avec des trichomes glandulaires qui produisent de la colle et de la viscosité des exsudats sur lesquels il peut se déplacer parfaitement et chasser activement des proies.

Tableau 1 : Liste des plantes hôtes sur lesquelles *N. tenuis* a été signalé.

Famille	Espèces	Nom commun
Solanaceae	<i>Solanum lycopersicum</i> L.	Tomate
	<i>Capsicum annuum</i> L.	Piment
	<i>Nicotiana tabacum</i> L.	Tabac
	<i>Solanum melongena</i> L.	Aubergine
	<i>Solanum tuberosum</i> L.	Patate
	<i>Solanum nigrum</i> L.	Morelle noire
Cucurbitaceae	<i>Cucurbita pepo</i> L.	Courgettes
	<i>Cucumis melo</i> L.	Melon
	<i>Lagenaria siceraria</i> (Molina) Standl	Calebasse
Asteraceae	<i>Gerbera</i> spp.	Gerbera
	<i>Dittrichia viscosa</i> (L.)	Inule visqueuse
Pedaliaceae	<i>Sesamum indicum</i> L.	Sésame

Source: Urbaneja et Pérez-Hedo, (2016)

Au Burkina Faso, *G. gynandra* a été identifié au cours de la campagne sèche 2019-2020 comme plante hôte (Planche 3) de *N. tenuis*. Faisant partie de la famille des *Cleomaceae*, *G. gynandra* est une plante à la fois sauvage et cultivée comme légume en association avec la tomate dans plusieurs régions du Burkina Faso.



Planche 3 : Plantes de *G. gynandra*

3.1.5. Capacité de prédation et dégâts causés par *N. tenuis* sur les plantes

Nesidiocoris tenuis est un prédateur. Il est associé à une large gamme de plantes hôtes cultivées dont la tomate et le poivron sur lesquels il se nourrit directement en prélevant la sève et en provoquant des anneaux nécrotiques jaunes sur les tiges et la chute des fleurs. Plusieurs auteurs lui attribuent le statut de ravageur de plantes (Wheeler, 2000 ; Arnó et al., 2009), et des stratégies de lutte sont développées contre *N. tenuis*.

A l'inverse, dans de nombreux pays, cette espèce a été utilisée comme agent de contrôle biologique dans les agro-écosystèmes, afin de lutter contre les principaux insectes nuisibles des serres comme les aleurodes (*Bemisia tabaci*, *Trialeurodes vaporariorum*), les pucerons (*Macrosiphum euphorbiae*), les thrips (*Frankliniella occidentalis*) et les papillons de nuit (*Spodoptera exigua*), (Urbaneja et al., 2009).

Sa capacité de prédation dépend de plusieurs facteurs dont les principaux sont la densité des proies et la température. En présence de proies, *N. tenuis* peut consommer plus de 45 œufs et 1,8 larves

(Planche 4) de *T. absoluta* en 24 heures (Urbaneja et al., 2009) et sa consommation est optimale à 35 °C. A cette température, *N. tenuis* est capable de prédater 42,4 individus de *B. tabaci* en 24 heures (Madbouni et al., 2017).

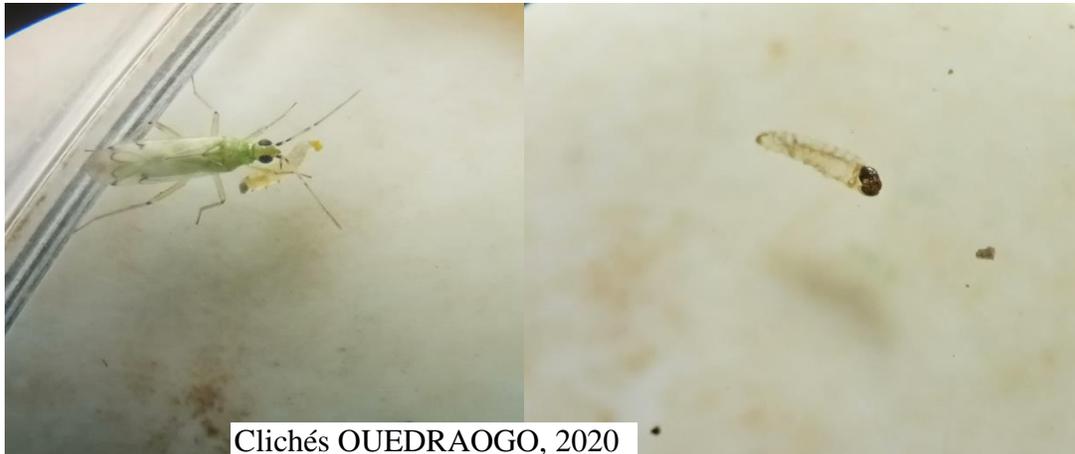


Planche 4 : Prédation des larves de *T. absoluta* par *N. tenuis*

3.2. MATERIEL ET METHODES

3.2.1. Matériel

- Cadre de l'étude

L'étude a été réalisée au Laboratoire de la Clinique des plantes de l'Institut du Développement Rural (IDR) de l'Université Nazi Boni (UNB) à Bobo-Dioulasso. Il faut noter également qu'une prospection réalisée par ladite clinique a montré que *N. tenuis* était présent dans toutes les zones agro-climatiques du Burkina Faso. La figure 9 présente les zones où *N. tenuis* a été trouvé au Burkina Faso et l'emplacement de l'Université Nazi Boni de Bobo-Dioulasso.

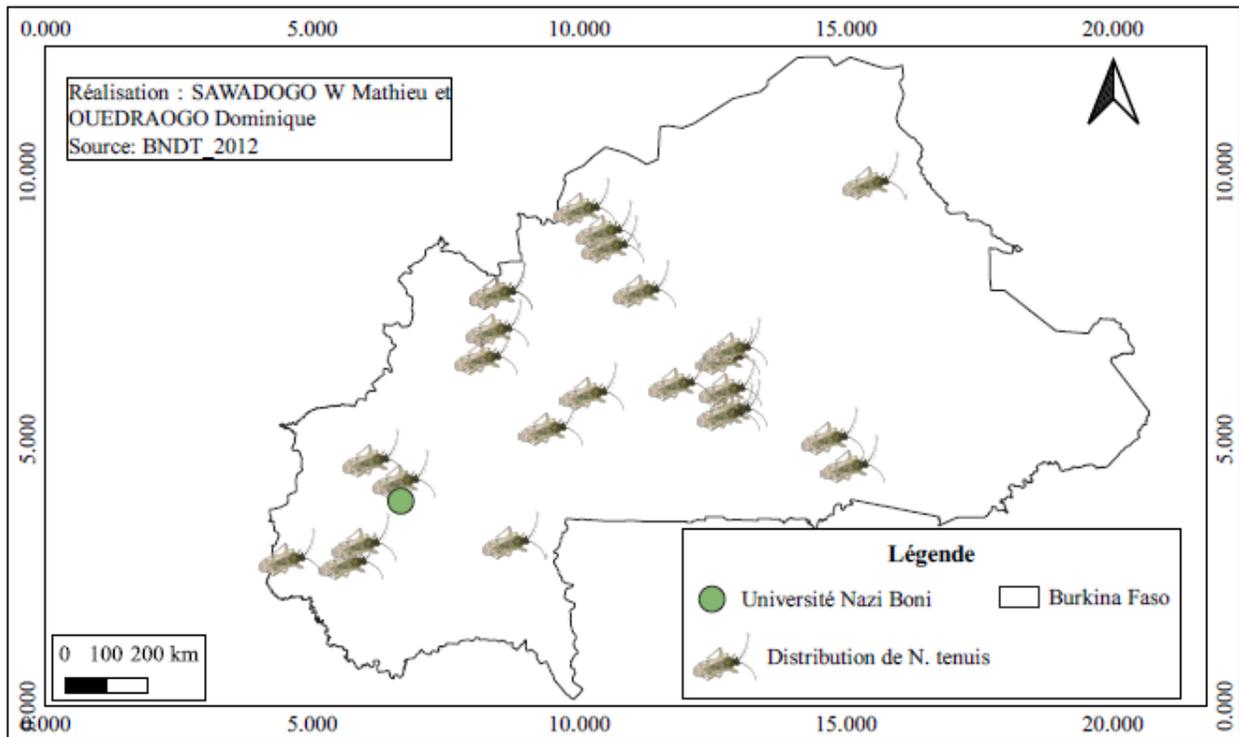


Figure 9 : Distribution géographique de *N. tenuis* au Burkina Faso

- **Matériel animal**

L'étude a porté sur deux (02) espèces animales : *T. absoluta* et *N. tenuis*.

- Pour *T. absoluta*, des œufs et des larves de tous les stades ont été utilisés pour les tests de prédation. Les larves L2 ont été utilisées pour les tests de sensibilité aux pesticides.
- Pour *N. tenuis*, les larves et les adultes ont été utilisés pour l'évaluation de leur capacité de prédation et de recherche. La larve L5 a été utilisée pour le test de sensibilité aux différentes molécules de pesticides.

Les populations de ces deux espèces sont de la zone de Bobo Dioulasso, collectées et élevées en masse au laboratoire de la Clinique des Plantes de l'UNB. Pour les tests, les générations F1 des deux espèces ont été utilisées.

- **Matériel végétal**

Le matériel végétal était composé des plantes de tomate de variétés « Mongal » et « Petromech » pour l'élevage de masse de *T. absoluta* et de *N. tenuis*.

Par ailleurs, *G. gynandra* a aussi été utilisé comme support d'élevage de *N. tenuis in vitro* et en serre.

- **Pesticides utilisés**

Les pesticides étaient composés d'insecticides chimiques de synthèse, d'insecticides biologiques d'origine animale, de biopesticides d'origine végétale utilisés par les producteurs et de biopesticides d'origine végétale en cours de formulation.

Les caractéristiques des insecticides chimiques (Abalone et Emacot), les insecticides biologiques d'origine animale (Biok 16, Radiant et Laser), les insecticides biologiques d'origine végétale utilisés par les producteurs (HN bio stimulant et l'huile de *Jatropha curcas*) et les insecticides biologiques d'origine végétale en cours de formulation sont consignés dans le tableau 2.

Tableau 2 : Liste des pesticides utilisés et leurs caractéristiques chimiques

Nom commercial	Matière active	Famille chimique	Mode d'action	Groupe d'insectes cibles	Type de formulation	Concentration	Dose recommandée
Abalone	Abamectine	Avermectine	Contact et ingestion	Lépidoptère, Thrips, Mouches blanches, acariens	EC	18 g/l	18g/ha
Emacot	Emamectine benzoate	Avermectine	Contact et ingestion	Lépidoptère , Thrips, Mouches, coléoptères	EC	19 g/l	9,5g/ha
Laser	Spinosad	Spinosyn	Contact et ingestion	Lépidoptère , Thrips, Mouches, coléoptères	SC	480g/l	48g/ha
Radiant	Spinetoram	Spinosyn	Contact et ingestion	Lépidoptère , Thrips, Mouches, coléoptères	SC	120g/l	12 g/ha
Biok 16	<i>Bacillus thuringiensis</i>	Microorganisme	Contact et ingestion	Bio-insecticide foliaire autorisé contre les chenilles ravageuses de la culture maraîchère	WP	16000 UI/mg	2,4.10 ¹⁰ UI/ha
HN biostimulant	Azadirachtine, Nimbidine	Huile végétale	Contact et ingestion	Lépidoptère, Thrips, Mouches blanches, acariens	WP	/	5 l/ha
Huile de <i>Jatropha curcas</i>	/	Huile végétale	Contact et ingestion	Lépidoptère, Thrips, Mouches blanches, acariens	EO	/	5 l/ha
<i>Cleome viscosa</i>	/	Extrait méthanolique	Contact	Chenilles en cultures maraichères	EW	/	/
<i>Parkia biglobosa</i>	/	Extrait méthanolique	Contact	Chenilles en cultures maraichères	EW	/	/
<i>Cassia nigricans</i>	/	Extrait d'acétate ethyle	Contact	Chenilles en cultures maraichères	EW	/	/
<i>Ocimum basilicum</i>	/	Extrait d'acétate ethyle	Contact	Chenilles en cultures maraichères	EW	/	/
<i>Mitragyna inermis</i>	/	Extrait méthanolique	Contact	Chenilles en cultures maraichères	EW	/	/
<i>Cassia occidentalis</i>	/	Extrait acétate ethyle	Contact	Chenilles en cultures maraichères	EW	/	/
PBIG	/	Extrait méthanolique	Contact	Chenilles en cultures maraichères	EW	/	/

- Matériel technique

Le matériel technique était composé d'une part, de matériel de laboratoire et d'autre part, de matériel d'élevage de masse de *T. absoluta* et de *N. tenuis* et de manipulation.

Le matériel de laboratoire (Planche 5) était composé de :

- Pipettes pour le prélèvement des insecticides et l'eau de dilution ;
- Une balance sensible pour les pesées des pesticides solides ;
- Epprouvettes pour la préparation des différentes concentrations ;
- Deux loupes stéréoscopiques pour le comptage des œufs de *T. absoluta*, l'identification des différents stades de *N. tenuis* et la prise de photos ;

Quant au matériel d'élevage (planche 5 E) et de manipulation, il était composé de:

- Dix cages d'élevage en bois de dimensions 80 cm x 40 cm x 40 cm, munies de toile mousseline fine sur les quatre côtés et le plafond pour l'aération ;
- Boîtes de Pétri en plastique de 10 cm de diamètres pour les différents bio-essai ;
- Pots de 10 cm de diamètre pour le repiquage des jeunes plantes de tomates âgées de 4 semaines pour la collecte des œufs et le test de capacité de recherche ;
- Enregistreur USB de température et d'humidité (Version 2.0, 07/07) qui a servi à la collecte des données sur la température et l'humidité de la salle d'élevage et de manipulation ;
- Loupe manuelle pour le décompte des œufs et des larves néonates ;
- Pinceau pour déplacer les larves d'une boîte à l'autre sans les blesser, ni les tuer.

La planche 5 présente le matériel utilisé.



Planche 5 : Matériel utilisé

A = pipette pasteur ; *B* = pipette 0,5 μ l, *C* = loupes stéréoscopiques ; *D* = enregistreur USB de température et d'humidité ; *E* = cages d'élevage ; *F* = trousseau de petit matériel ; *G* = boîte de Pétri et bécher ; *H* = loupe manuelle ; *I* = pots

- Conditions de laboratoire

Tous nos essais se sont déroulés dans une même gamme de température de $25,5 \pm 3,5$ C ; de photopériode de 12/12 heures et d'humidité de $74,7 \pm 14,7\%$.

3.2.2. Méthodes

- Capacité de prédation de *N. tenuis*

Pour évaluer la capacité de prédation des œufs et des larves, deux scénarii ont été mis en œuvre : la prédation des œufs et celle des larves.

Chaque soir à 18 heures, nous introduisons de jeunes plantes de tomate d'au moins un mois d'âge dans les cages d'élevage de masse pour y faire pondre *T. absoluta*. Les plantes sont ensuite retirées des cages le lendemain matin à 6 heures et les œufs de moins de 12 heures d'âge récoltés des feuilles. Une soixantaine d'œufs sont placés dans une boîte de Pétri à fond couvert d'un papier buvard humidifié pour garder le taux d'humidité constant. Dans chaque boîte contenant les œufs, un individu *N. tenuis* affamé de 24 heures a été introduit. 24 heures après l'introduction, le prédateur est retiré et à l'aide du binoculaire stéréoscopique, les œufs vides ont été dénombrés ; le fait qu'ils soient devenus vides est le signe que leur contenu a été vidé par *N. tenuis*. L'opération a été répétée quatorze fois pour chaque stade de développement de *N. tenuis* (L1 ; L2 ; L3 ; L4 ; L5 et adulte).

En ce qui concerne la capacité de prédation des larves, l'opération a consisté à mettre en contact un individu de *N. tenuis* affamé de 24 heures à chacun des 4 stades larvaires de *T. absoluta*. La même procédure que celle décrite plus haut a été adoptée mais en retirant le papier buvard pour ne pas laisser de cachette aux larves. Une dizaine de larves des premiers stades du ravageur (L1 et L2) a été mise en contact avec chaque stade larvaire et adulte du prédateur. Cinq individus de L3 et 5 de L4 ont été placés dans chaque boîte de Pétri. 24 heures après, les larves vidées ont été dénombrées.

- **Capacité de recherche de *N. tenuis***

Le défi de la prédation des œufs est la capacité de *N. tenuis* à rechercher et à retrouver les œufs de *T. absoluta* dans les conditions naturelles. Ainsi, nous avons fait pondre *T. absoluta* sur de jeunes plantes de tomate âgées d'un mois. Les œufs de *T. absoluta* moins de 12 heures ont été comptés par deux opérateurs différents pour s'assurer du nombre exact d'œufs sur chaque plante. Deux plantes portant les œufs dénombrés du ravageur ont été placées dans une cage comportant quatre autres plantes ne portant pas d'œufs de *T. absoluta* afin de simuler les conditions du milieu naturel (six plantes de tomate au mètre carré). Les plantes contenant les œufs ont été distribuées aléatoirement mais en prenant le soin qu'elles se touchent. Un individu de *N. tenuis* affamé pendant 24 heures est introduit dans chaque cage et y est maintenu pendant 24 heures. Après ce temps, l'individu est recherché sur les plantes et l'opération est validée lorsqu'il est retrouvé. Le nombre d'œufs non prédatés est recompté et la différence entre le nombre soumis et retrouvé constitue le nombre d'œufs prédatés. Pour chacun des stades larvaires et adulte du prédateur, l'opération a été répétée 5 fois.

- Préparation des différentes concentrations de pesticide

Six concentrations largement espacées ont été préparées pour chaque type de pesticide. Les différentes concentrations ont été préalablement déterminées en fonction des doses recommandées et des pré-tests effectués. L'eau distillée a été utilisée comme témoin. Pour chaque concentration, du triton à la concentration de $0,2 \text{ g.L}^{-1}$ a été utilisé comme agent mouillant, y compris pour le témoin.

- Test de sensibilité de *T. absoluta* aux insecticides

La méthode IRAC 022 adaptée a été utilisée et adaptée pour les différents tests. Pour ce faire, après la préparation des six concentrations largement espacées, des feuilles de tomate ont été trempées pendant 3 secondes dans chaque concentration puis séchées pendant une heure. Les feuilles ont été placées dans une boîte de Pétri à fond tapissé d'un papier buvard humidifié. Pour chaque dose d'insecticide, 32 larves (L2) de la première génération de l'élevage de masse de *T. absoluta* ont été introduites dans la boîte de Pétri. Les larves de *T. absoluta* ont été réparties dans cinq boîtes de Pétri et placées en observation pendant 72 heures après le scellage des différentes boîtes. Au terme des 72 heures, les mortalités ont été évaluées. Sont considérées comme mortes, les larves qui ne parvenaient plus à bouger ni à réaliser un mouvement coordonné.

- Test de sensibilité de *N. tenuis* aux insecticides

Les insecticides utilisés pour le test de sensibilité de *T. absoluta* sont les mêmes qui ont été utilisés pour le test de sensibilité de *N. tenuis*. Des feuilles de tomate ont été trempées pendant trois secondes dans chaque concentration d'insecticide puis séchées pendant une heure. Les feuilles ont ensuite été placées dans des boîtes de Pétri. Pour chaque dose d'insecticide utilisée, 20 larves de stade L5 issues de la première génération de *N. tenuis* ont été placées sur les feuilles traitées et réparties dans quatre boîtes de Pétri. Les individus ont préalablement été exposés à la concentration de l'insecticide et ce, pour évaluer la double exposition. Les mortalités ont été évaluées après 24 ; 48 et 72 heures d'exposition afin de maintenir la plage horaire où il n'y aura pas 100% de mortalité pour la réalisation des analyses probits.

Pour les biopesticides en formulation, seuls les insecticides qui se sont avérés efficaces sur *T. absoluta* ont été utilisés pour les tests sur *N. tenuis*.

- Capacité de développement de *T. absoluta* sur *G. gynandra*

Pour évaluer la capacité de développement de *T. absoluta* sur *G. gynandra*, nous avons placé dix œufs de moins de 12 heures du ravageur sur une feuille de *G. gynandra*. Au total, cinq répétitions ont été constituées et les feuilles de tomate étaient le témoin. Les œufs ont été suivis jusqu'à leur éclosion alors que la survie des larves a été observée.

Parallèlement à cette expérimentation, dix larves L2 de *T. absoluta* ont été placées sur une feuille de *G. gynandra* pour suivre leur capacité de développement. L'opération a été répétée cinq fois et les feuilles de tomate ont été utilisées comme témoin.

3.2.3. Paramètres mesurés

Les paramètres mesurés sont les suivants :

- Le nombre de larves prédatées : il a été obtenu en faisant la différence entre le nombre de larves introduites dans le bio-essai et le nombre de larves retrouvées 24 heures après ;
- Le taux de mortalité des larves de *T. absoluta* ou celles de *N. tenuis* ;

Les taux de mortalités ont été obtenus en corrigeant la mortalité par celle du témoin (eau distillée + triton) par l'utilisation de la formule d'Abbott. Les données obtenues ont été utilisées pour effectuer une analyse dose-réponse probit afin d'obtenir des estimations de la CL50 et de la CL80 pour chaque dose insecticide testée. Les bio-essais retenus étaient ceux dont la mortalité des témoins ne dépassait pas 10-15%.

La formule d'Abbott : $Mc = [(Mo-Mt) / (100-Mt)]*100$ avec :

M : Taux de mortalités corrigés (%) ;

Mo: Taux de mortalités dans les boîtes traitées (%) ;

Mt : Taux de mortalités observées parmi les témoins (%).

- Le taux d'éclosion des œufs : la même formule d'Abbott a été utilisée pour estimer le taux d'éclosion.
- Estimation de la probabilité d'échec de contrôle de *T. absoluta* ou d'élimination de *N. tenuis*.

Cette probabilité a été calculée selon la formule de Guedess (2016) ; **$CFL = 100 - (% DR / \%Ho *100)$** avec :

- **CFL : probabilité d'échec de contrôle de *T. absoluta* ou d'élimination de *N. tenuis* ;**
- **100 : contrôle à 100% ;**
- **% DR : correspond au pourcentage d'individus morts lorsque la dose recommandée par le fabricant est utilisée ;**
- **% Ho : seuil d'efficacité minimum requis pour permettre l'homologation d'un insecticide conventionnel ; il est généralement estimé à 80 %.**

3.2.4. Analyse des données

Les données ont été saisies et organisées avec le tableur Excel 2013. Les graphiques ont été réalisés avec le logiciel Excel. Une analyse probit et de variance a été appliquée aux paramètres mesurés et la comparaison des moyennes a été effectuée selon le test de Student-Newman-Keuls (SNK) (ANOVA) au seuil de signification de 5 % à l'aide du logiciel SPSS Statistics 22.

3.3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.3.1. Résultats

3.3.1.1. Capacité de prédation des œufs de *T. absoluta* soumis directement et à la recherche par *N. tenuis*

La capacité de prédation des œufs de *T. absoluta* par *N. tenuis* est présentée au tableau 3. Les résultats montrent que tous les stades de développement de *N. tenuis* ont une capacité de prédater les œufs de *T. absoluta*. L'analyse de variance montre une différence significative entre les différents stades ($P = 0,003$). En effet, la capacité de prédation de L4, L5 et les adultes ($\geq 39,6 \pm 8,3$ œufs) diffère significativement de L1 ($18,4 \pm 12,7$ œufs). En revanche, il n'existe aucune différence significative entre L2, L3, L4, L5 et les adultes lorsque les œufs sont soumis directement au prédateur.

Quant à la capacité de recherche, celle de L5 et celle des adultes ($\geq 21,0 \pm 11,1$ œufs) diffèrent significativement de celle de L1 ($4,6 \pm 5,1$ œufs). En revanche, il n'existe aucune différence significative entre L2, L3 et L4.

La comparaison entre les deux modalités (œufs soumis directement et œufs soumis à la recherche) de prédation a montré une différence significative ($P < 0,001$) entre cinq stades de développement de *N. tenuis*. Pour chaque stade de *N. tenuis*, le nombre d'œufs consommés est faible lorsqu'il est soumis à la recherche. En revanche, aucune différence significative ($P = 0,061$) de consommation n'a été observée pour les larves L1 lorsqu'elles sont soumises directement ou à la recherche.

Tableau 3 : Capacité de prédation des œufs de *T. absoluta* par *N. tenuis* soumis directement et à la recherche

Stade	Nombre de répétitions	M1	M2	P	Signification
L1	14	18,4 ± 12,7 a AB	4,6 ± 5,1 a A	0,061	Non
L2	14	30,2 ± 8,1 ab BC	9,8 ± 6,5 ab A	<0,001	Oui
L3	14	32,4 ± 7,6 ab BC	8,8 ± 5,7 ab A	<0,001	Oui
L4	14	39,6 ± 8,3 b C	13,8 ± 9,7 ab A	<0,001	Oui
L5	14	39,6 ± 8,3 b C	21,0 ± 11,1 b AB	<0,001	Oui
Adulte	14	45,0 ± 9,9 b C	20,4 ± 7,8 b AB	<0,001	Oui
P		0,003	0,022		
Signification		Oui	Oui		

N.B. Les moyennes associées aux mêmes lettres alphabétiques en majuscules sur la ligne, des mêmes lettres en minuscules dans la colonne, ne sont pas significativement différentes d'après le test de Newman-Keuls au seuil de 5%.

L : stade larvaire ; *P* : probabilité ; *M1* : moyenne des œufs consommés lorsqu'ils sont soumis directement ; *M2* : moyenne des œufs lorsqu'ils sont soumis à la recherche

3.3.1.2. Capacité de prédation des larves de *T. absoluta* par *N. tenuis*

Les résultats de l'analyse de la capacité de prédation des larves de *T. absoluta* sont consignés dans le tableau 4. Ces résultats font ressortir que tous les stades de développement de *N. tenuis* n'ont pas la même capacité de prédation. Cependant, à partir de L3, elles ont au moins la capacité de prédater les larves L1 de *T. absoluta*. Pour les autres stades larvaires de *T. absoluta*, seulement le stade L2 est prédaté par L5 de *N. tenuis* (4,4 ± 1,6 larves prédatées en 24 h). L'analyse de variance montre une différence hautement significative (P< 0,0001), entre les différents stades de *N. tenuis* par rapport à leurs capacités de prédater les larves L1 de *T. absoluta*. La capacité de prédation des adultes (AD) et L5 (10 individus en moyenne) est significativement différente de celles de L4 et L3 (4 individus en moyenne). En revanche, il n'y a aucune différence significative entre adultes et L5 ainsi qu'entre L4 et L3 de *N. tenuis*.

Tableau 4 : Capacité de prédation des larves de *T. absoluta* par *N. tenuis* en 24 heures

Stade	Nombre de répétitions	Moyenne
AdN/L1T	5	11,0 ± 1,8 c
AdN/L2T	5	0,0 ± 0,0 a
AdN/L3T	5	0,0 ± 0,0 a
AdN/L4T	5	0,0 ± 0,0 a
L5N/L1T	5	10,2 ± 1,8 c
L5N/L2T	5	4,4 ± 1,6 b
L5N/L3T	5	0,0 ± 0,0 a
L5N/L4T	5	0,0 ± 0,0 a
L4N/L1T	5	3,0 ± 1,6 b
L4N/L2T	5	0,0 ± 0,0 a
L4N/L3T	5	0,0 ± 0,0 a
L4N/L4T	5	0,0 ± 0,00a
L3N/L1T	5	3,0 ± 1,5 b
L3N/L2T	5	0,0± 0,0 a
L3N/L3T	5	0,0 ± 0,0 a
L3N/L4T	5	0,0± 0,0 a
L2N/L1T	5	0,0 ± 0,0 a
L2N/L2T	5	0,0 ± 0,0 a
L2N/L3T	5	0,0 ± 0,0 a
L2N/L4T	5	0,0 ± 0,0 a
L1N/L1T	5	0,0 ± 0,0 a
L1N/L2T	5	0,0 ± 0,0 a
L1N/L3T	5	0,0 ± 0,0 a
L1N/L4T	5	0,0 ± 0,0 a
<i>P</i>		<0,001
Signification		Oui

NB : les moyennes suivies des mêmes lettres dans la même colonne ne sont pas significativement différentes entre elles au seuil de probabilité de 5% selon le test de Newman et Keuls.

Lx : stade larvaire x ; N : Nesidiocoris tenuis ; T : Tuta absoluta ; Ad : adulte P : probabilité

3.3.1.3. Tests d'efficacité de biopesticides d'origine végétale sur *T. absoluta*

Les résultats du test d'efficacité des biopesticides d'origine végétale utilisés contre *T. absoluta* sont présentés dans le tableau 5.

L'analyse probit montre que la majorité des pesticides utilisés ont un CL50 < 10000 mg L⁻¹. La plus faible CL50 (1121 mg L⁻¹) est obtenue avec *Ocimum basilicum* et la plus élevée est PBIG avec un CL50 de 16365 mg L⁻¹.

Tableau 5 : Sensibilité de *T. absoluta* aux biopesticides en cours de formulation

Insecticide	N	LC50 (mg L ⁻¹)	Niveau de confiance (95%)	LC80 (mg L ⁻¹)	Niveau de confiance (95%)	Pente ± SE	χ ²
<i>Cleome viscosa</i>	192	5479	4264-6664	8648	7371-10691	0,2 ± 0,1	0,7
<i>Parkia biglobosa</i>	192	7501	5811-12172	12661	9500-25438	0,2 ± 0,1	1,0
<i>Cassia nigricans</i>	192	5714	3852-8088	114	8797-17772	0,1 ± 0,0	0,4
<i>Ocimum basilicum</i>	192	1121	3733-7211	8351	5951-14602	0,1 ± 0,0	0,6
<i>Mitragyna inermis</i>	192	6844	4089-15057	14190	10017-68909	0,1 ± 0,1	0,9
<i>Cassia occidentalis</i>	192	2958	1655-3828	5671	26295-54512	0,3 ± 0,1	0,7
PBIG	192	16365	13884-20336	24045	20133-31861	0,1 ± 0,0	1,0

3.3.1.4. Test de sensibilité de *T. absoluta* aux pesticides commercialisés et probabilité d'échec de contrôle

Le tableau 6 présente les concentrations létales des différents pesticides testés sur *T. absoluta*. Les plus petites concentrations létales sont observées avec les insecticides chimiques de synthèse et ceux d'origine animale. L'analyse probit des sept molécules testées montre que Emamectine benzoate est le plus toxique avec un CL50 = 0,02 mg L⁻¹ suivi du Spinosad, de l'Abamectine et du Spinetoram avec respectivement des CL50 de 0,04 mg L⁻¹; 0,07 mg.L⁻¹ et 0,08 mg.L⁻¹. En revanche, les insecticides d'origine végétale et des micro-organismes (*B. thuringiensis*) présentent des CL50 plus élevés par rapport aux pesticides chimiques de synthèse et d'origine animale.

Le calcul de la probabilité de contrôle (control failure likelihood : CFL) fait ressortir que l'huile de neem et celle de *J. curcas* ont un CFL > 0 (Tableau 6). L'utilisation de ces insecticides pour le

contrôle de *T. absoluta* conduirait respectivement pour l'huile de *J. curcas* et l'huile de neem à 7,5% et 33,8 % de risque d'échec du traitement. En revanche, l'Abamectine, l'Emamectine benzoate, le Spinosad, le Spinetoram et *B. thuringiensis* présentent des CFL < 0 (-25). L'utilisation de ces insecticides induirait -25% de risque d'échec du traitement lorsque la dose recommandée par le fabricant est appliquée.

Tableau 6 : Sensibilité de *T. absoluta* aux pesticides testés

Insecticide	N	LC50 (mg.L ⁻¹)	Niveau de confiance (95%)	LC80 (mg L ⁻¹)	Niveau de confiance (95%)	Pente ± SE	χ ²	Probabilité d'échec de contrôle (CFL)
Abamectine	192	0,07	0,01–0,12	0,22	0,16-0,44	6,0 ± 1,7	0,3	-25
Emamectine benzoate	192	0,02	0,01–0,03	0,05	0,04-0,08	23,8 ± 4,4	0,9	-25
Spinosad	256	0,04	0,03– 0,05	0,06	0,05-0,08	31,1 ± 5,0	0,3	-25
Spinetoram	224	0,08	0,01-0,16	0,32	0,23-0,51	3,6 ± 0,8	0,8	-25
<i>B. thuringiensis</i> subsp. Kurstaki	128	1606,25	1328,25-2060,38	2488,69	2040,88-3419,75	0,1 ± 0,0	0,9	-25
Huile de neem	192	10,34	1,19-16,83	34,27	26,30-54,51	0,0 ± 0,0	0,7	33,8
Huile de <i>Jatropha curcas</i>	160	7,47	5,52-9,68	14,60	12,00-18,90	0,1 ± 0,0	0,4	7,5

3.3.1.5. Sensibilité de *N. tenuis* aux pesticides et probabilité d'élimination

Le tableau 7 présente les concentrations létales des différents pesticides testés sur *N. tenuis*. Les plus petites concentrations létales sont observées au bout de 24 heures avec les insecticides chimiques de synthèse et ceux d'origine animale. L'analyse probit des sept molécules testées montre que l'Emamectine benzoate est le plus toxique avec une CL50 de 0.77 mg.L⁻¹ suivi, de l'Abamectine, du Spinosad et du Spinetoram avec respectivement des CL50 de 1,268 mg.L⁻¹, 4,94mg.L⁻¹ et 4,93 mg.L⁻¹. En revanche, les insecticides d'origine végétale et des micro-

organismes (*B. thuringiensis*) présentent des CL50 plus élevés par rapport aux pesticides chimiques de synthèse et ceux d'origine animale et seraient moins toxiques pour *N. tenuis*.

Le calcul de la probabilité d'échec de contrôle (control failure likelihood : CFL), fait ressortir que l'huile de neem ainsi que celles de *J. curcas* et *B. thuringiensis* ont un CFL > 100 mg.L⁻¹ (Tableau 7). L'utilisation de ces insecticides pour le contrôle de *T. absoluta* conduirait à un maintien de *N. tenuis* à plus de 65% pour les trois insecticides. En revanche, l'Abamectine, l'Emamectine benzoate, le Spinosad et le Spinetoram présentent des CFL < 0 (-25). L'utilisation de ces insecticides induirait 100% de chances d'éliminer *N. tenuis* lorsque la dose recommandée par le fabricant est appliquée.

Tableau 7 : Sensibilité de *N. tenuis* aux pesticides et probabilité d'élimination

Insecticide	N	LC50 (mg.L ⁻¹)	Niveau de confiance (95%)	LC80 (mg.L ⁻¹)	Niveau de confiance (95%)	Pente ± SE	χ ²	Probabilité d'échec de contrôle (CFL)
Abamectine	152	1,27	1,05-1,540	1,91	1,62-2,44	1,3 ± 0,2	0,6	-25
Emamectine benzoate	152	0,77	0,61-0,98	1,20	1,00-1,63	2,0 ± 0,4	0,6	-25
Spinosad	152	4,94	3,82-6,19	7,84	6,49-11,46	0,3 ± 0,1	0,2	-25
Spinetoram	152	4,93	4,03-5,87	7,23	6,20-9,36	0,4 ± 0,1	0,9	-25
<i>B. thuringiensis</i> subsp. Kurstaki	132	6627	5425,50-9197,19	9714,88	7776,31-15310,88	0,0 ± 0,0	0,6	67
Huile de neem	132	107,43	83,04-172,52	174,29	131,68-340,18	0,0 ± 0,0	0,5	87
Huile de <i>J.</i> <i>curcas</i>	132	109,22	90,31-147,94	156,95	127,15-240,28	0,0 ± 0,0	0,7	95

Les biopesticides en formulation testés sur *N. tenuis* sont présentés dans le tableau 8. L'insecticide *Ocimum basilicum* présente la plus faible concentration létale (CL50=26234 mg.L⁻¹). *Cleome viscosa* et *Cascia biglobosa* ont tous des CL50 > 50000 mg.L⁻¹.

Ces biopesticides semblent être compatibles avec l'utilisation de *N. tenuis*.

Tableau 8 : Sensibilité de *N. tenuis* aux biopesticides en formulation

Insecticide	N	LC50 (mg. L ⁻¹)	Niveau de confiance (95%)	LC80 (mg/l)	Niveau de confiance (95%)	Pente ± SE	χ ²
<i>Cleome viscosa</i>	80	74208	55610- 265693	100628	71480-443199	0,3 ± 0,0	0,4
<i>Ocimum basilicum</i>	80	26234	20484-51521	36335	27251-85472	0,1 ± 0,0	0,4
<i>Parkia biglobosa</i>	80	53233	43751-225326	68126	52644- 407311	0,1 ± 0,0	0,8

3.3.1.6. Capacité de développement de *T. absoluta* sur *G. gynandra* et la tomate

La figure 10 illustre la capacité de développement de *T. absoluta* sur les feuilles de *G. gynandra* comparativement aux feuilles de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Il n'existe aucune différence significative entre les feuilles de *G. gynandra* et les feuilles de tomate en ce qui concerne le taux d'éclosion des œufs de *T. absoluta*. Après l'éclosion, les larves néonates meurent au cours des 72 heures suivantes sur *G. gynandra*. Par contre, sur les feuilles de tomate, elles survivent plus de 72 heures.

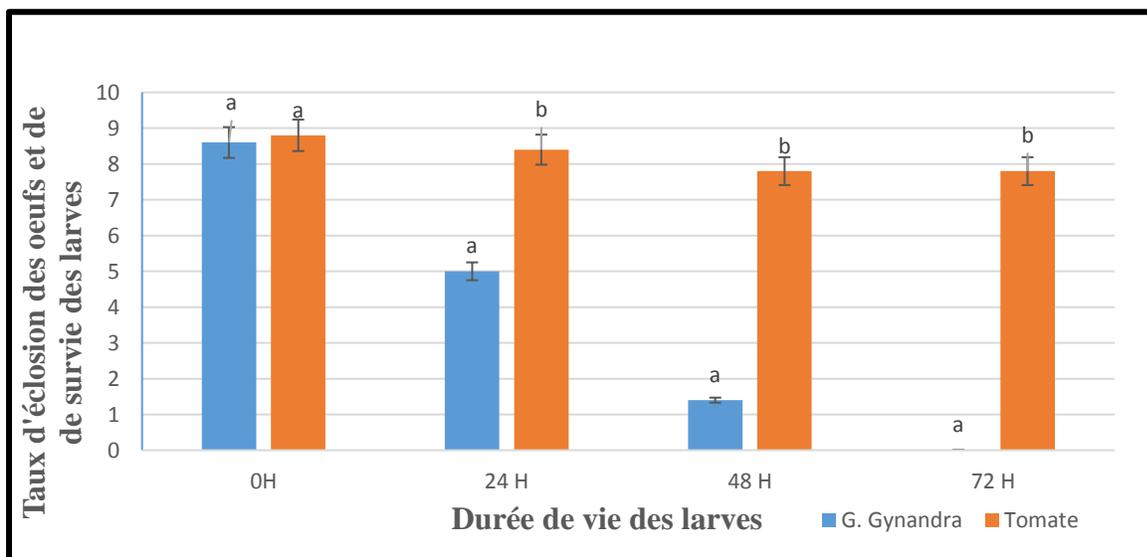


Figure 10 : Capacité de développement des larves néonates de *T. absoluta* sur les feuilles de *G. gynandra* et de tomate

La capacité de survie des larves L2 de *T. absoluta* est présentée à la figure 11. Après 72 heures d'introduction de ces larves, aucune n'a pu survivre au-delà. En revanche, les larves placées sur les feuilles de tomates ont survécu en minant celles-ci.

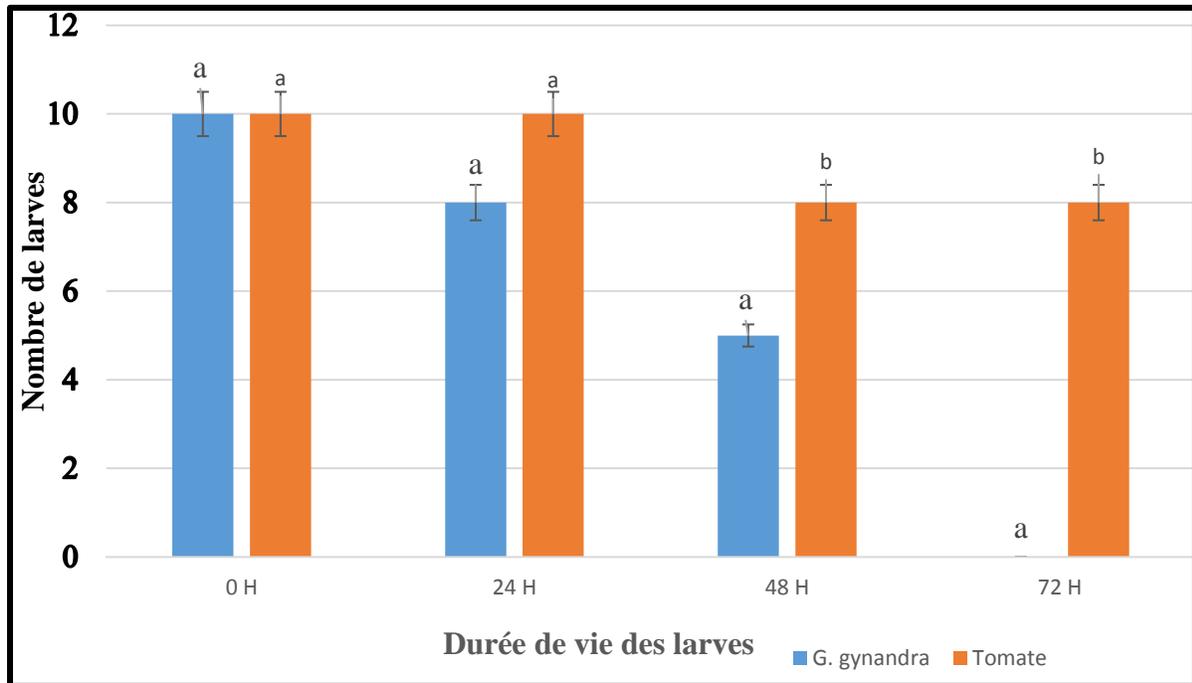


Figure 11 : Capacité de développement des larves L2 de *T. absoluta* sur les feuilles de *G. gynandra* et de tomate

3.3.2. Discussion

Nesidiocoris tenuis s'est montré très vorace dans la prédation des œufs et des larves de *T. absoluta* lorsque ceux-ci lui étaient soumis directement. Tous les stades de développement de *N. tenuis* sont capables de prédater les œufs de *T. absoluta*.

Nos résultats sont conformes à ceux obtenus par Urbaneja et al., (2008) qui ont montré qu'en conditions de laboratoire, les mâles et les femelles de *N. tenuis* étaient capables de consommer plus de 30 œufs de *T. absoluta* par jour, les femelles étant plus voraces que les mâles. Cette voracité s'expliquerait par le nombre d'œufs soumis au prédateur. En effet, la capacité de prédation de *N. tenuis* augmente lorsque la densité des œufs augmente. Des études récentes ont montré que la capacité de prédation des larves L5 de *N. tenuis* était fonction du nombre de proies (œufs) disponibles et pouvait atteindre 50 œufs consommés en 24 heures lorsque 90 œufs de *T. absoluta* leur étaient soumis (Michaelides et al., 2017 ; Bouagga et al., 2018). Nos résultats montrent qu'il n'existe aucune différence de consommation entre L5 et un adulte de *N. tenuis* et le nombre moyen d'œufs consommés en 24 heures atteignait $45 \pm 9,9$. En revanche, la capacité de consommation diminue pour les nymphes L2, L3, L4, L5 et l'adulte lorsqu'ils sont soumis à l'épreuve de la recherche des œufs sur la plante. En effet, le maximum d'œufs retrouvés et consommés est de $21 \pm 11,0$ en 24 heures. Cette différence significative de consommation pourrait s'expliquer par le temps de recherche mais aussi par la nature phytophage du ravageur. Lorsqu'un individu affamé est libéré, il chercherait à accumuler de l'énergie (optimal foraging) en consommant des proies lorsqu'elles sont disponibles ou en prélevant la sève de la plante. Cette hypothèse a été attestée par Michaelides et al., (2018) et Bouagga et al., (2018) qui ont montré que lorsque des individus affamés de *N. tenuis* ont été libérés à la recherche de proies sur des plantes de poivron, ils ont passé plus de 33% de leur temps à se nourrir de la sève des plantes.

Nesidiocoris tenuis est également capable de prédater les larves de *T. absoluta*. En effet, nos résultats montrent que les larves L3, L4, L5 et les adultes du prédateur ont une capacité de prédation des larves L1 et seulement L5 prédate L2 de *T. absoluta*. Nos résultats confirment en partie ceux obtenus par Urbaneja et al., (2008) qui ont montré que *N. tenuis* était capable de prédater les larves de *T. absoluta* avec une préférence pour les L1. Urbaneja et al., (2008) ont rapporté que les adultes de *N. tenuis* consommaient tous les stades larvaires de *T. absoluta* et Arno et al., (2009) ont prouvé qu'ils n'en consommaient que les œufs mais pas les larves. Ces résultats

sont contraires aux nôtres et s'expliqueraient par une démarche méthodologique différente de la nôtre. En effet, Urbaneja et al., (2008), pour leur test de « sans choix », ont opté de laisser les larves de *T. absoluta* miner la feuille de tomate pendant deux heures avant d'introduire l'adulte affamé de *N. tenuis*. Cette méthode donne moins de chances aux larves de *T. absoluta* de s'échapper. En revanche, notre méthode (exposition directe des larves de *T. absoluta*) donne assez d'espace de se mouvoir et par leur instabilité à décourager le prédateur qui finira par renoncer.

Les insecticides chimiques de synthèse efficaces pour le contrôle de *T. absoluta* sont malheureusement aussi toxiques pour *N. tenuis*. En effet, les pesticides chimiques de synthèse et ceux d'origine animale (Abamectine, Emamectine benzoate, Spinosad et Spinetoram) sont efficaces contre *T. absoluta* avec des CL50 < 1 mg.L⁻¹. Ces pesticides, lorsqu'ils sont appliqués à la dose recommandée induiraient une mortalité de 100 % de *N. tenuis* avec une certitude de 100%. Nos résultats sont conformes à ceux rapportés par Kim et al., (2018) et Dader et al., (2019). Ces auteurs ont montré que l'application en serre de Spinosad, Spinetoram et Emamectine benzoate à la dose recommandée induit une mortalité de plus de 79,9 % de *N. tenuis*. Par ailleurs, le même niveau de toxicité a été rapporté par Fernandez et al., (2012) lorsque ces auteurs ont exposé des individus de *N. tenuis* à l'Abamectine (18 mg/l). Une mortalité de 100% a été observée après 72 heures d'exposition. En plus de la mortalité, l'utilisation de l'Abamectine induit une réduction de la fertilité de 92,5% de la population testée (Ziaei et al., 2017).

Le biopesticide d'origine microbienne (*B. thuringiensis*) s'est montré efficace contre *T. absoluta* et compatible à l'utilisation de *N. tenuis*. L'application du *B. thuringiensis* à la dose recommandée induit une mortalité de *T. absoluta* de 100% avec une probabilité d'échec de -25% et une certitude de 67 % d'épargner *N. tenuis*. Le même constat a été fait par Kim et al., (2018), Dader et al., (2019) lorsqu'ils ont utilisé *B. thuringiensis* en serre pour lutter contre *T. absoluta*. Ce biopesticide s'est montré efficace sans effet négatif significatif sur *N. tenuis*. En revanche, l'utilisation des biopesticides d'origine végétale (huile de neem et huile de *J. curcas*) semble être moins efficace contre le ravageur mais n'induit pas de mortalité à *N. tenuis*. L'utilisation de ces biopesticides en combinaison avec le prédateur ou en alternance avec *B. thuringiensis* pourrait avoir des effets additifs ou synergiques contre *T. absoluta*. L'huile de *J. curcas*, avec une probabilité d'échec de traitement de 7,5% sur *T. absoluta* est plus efficace que l'huile de neem. Cependant, cette huile présente une phytotoxicité à de faibles concentrations (1 ml. l⁻¹). Les biopesticides en formulation

se sont révélés efficaces contre le ravageur et pourraient être compatibles avec *N. tenuis*. L'efficacité de ces extraits sur *T. absoluta* serait due à l'effet des composés chimiques insecticides que contiennent ces extraits végétaux. Selon Mano et al., (2019), les différents extraits contiennent des sterols, triterpens, tanins, flavonoids, saponosides et des anthocyanosids en fonction du mode d'extraction. Nos résultats sont conformes à ceux obtenus par Mano et al., (2019) qui ont mis en évidence l'effet insecticide de différents extraits végétaux sur *Helicoverpa armigera* et *Spodoptera litura*, ravageurs de la tomate. La compatibilité des extraits des plantes avec les auxiliaires a été rapportée par plusieurs auteurs. Leur utilisation participe au maintien de l'équilibre écologique entre le ravageur et l'auxiliaire (Mochiah et al., 2011). En comparant l'effet de l'usage des pesticides de synthèse sur les auxiliaires, ces auteurs ont constaté que la prolifération des auxiliaires dans une parcelle de chou traitée avec les extraits de l'*Azadirachta indica* était plus importante que celle traitée au diméthoate (Sow et al., 2015).

Gynandropsis gynandra n'est pas une plante hôte de *T. absoluta*. En effet, nos résultats ont mis en évidence le fait que les œufs du ravageur éclosent mais meurent avant trois jours. De même, les larves L2 de *T. absoluta* mises en contact avec les feuilles du *G. gynandra* sont mortes trois jours après leur introduction sans miner les feuilles. Ces résultats pourraient s'expliquer par l'émission par les feuilles de composés organiques toxiques pour les larves ou par la nature de l'épiderme des feuilles qui est coriace pour les larves.

Conclusion partielle

Il ressort de cette étude que *N. tenuis* est capable de rechercher, de trouver et de prédateur les œufs et les larves de *T. absoluta* en conditions de laboratoire. Les tests de sensibilité du prédateur aux pesticides montrent que seuls les biopesticides d'origine végétale et de microorganismes (*B. thuringensis*) sont à la fois efficaces contre *T. absoluta* et compatibles avec *N. tenuis*. Cependant, les pesticides chimiques de synthèse (Abamectine, Emamectine benzoate) et, ceux d'origine animale (Spinosad et Spinetoram) sont très toxiques pour *N. tenuis*. L'utilisation de ces derniers conduirait à une élimination totale de *N. tenuis* dans les parcelles de tomate. Toutefois, ces informations sont intéressantes et pourraient contribuer à la mise en place d'un programme de lutte intégrée (IPM) contre *T. absoluta* au Burkina Faso. Toute chose qui garantira la salubrité et la production d'aliments de qualité répondant aux besoins des consommateurs.

Gynandropsis Gynandra n'est pas une plante hôte de *T. absoluta*. De ce fait, en plein champ, elle pourra faciliter la lutte biologique par conservation de *N. tenuis* en l'associant à la tomate ou utilisé en bordure des champs.

Conclusion générale et perspectives

La revue bibliographique sur les alternatives aux pesticides dans la lutte contre la mineuse de la tomate a fait ressortir l'existence d'alternatives efficaces contre *T. absoluta* en serre comme en plein champ. L'efficacité de ces alternatives peut être améliorée et être viable du point de vue économique si elles sont utilisées dans un programme de lutte intégrée. Au Burkina Faso, l'intégration de la lutte biologique par conservation, le piégeage de masse et l'utilisation de pesticides sélectifs sont des options viables.

La recherche sur la biologie et l'optimisation de l'utilisation de *N. tenuis* ont révélé que ce prédateur polyphage est un bon candidat pour la lutte biologique. Le risque de perte d'efficacité des stratégies actuelles est considérable par rapport au développement possible d'une résistance aux quelques insecticides qui représentent toujours une option fondamentale dans de nombreux contextes, en particulier pour les cultures de plein champ. Le développement de nouveaux moyens de contrôle et de nouvelles stratégies de conservation qui favorisent une activité efficace des

ennemis naturels au champ est essentiel pour améliorer et maintenir dans le temps l'efficacité et la durabilité de la gestion de *T. absoluta*.

Cette étude ouvre de nouvelles perspectives. Il est d'abord judicieux d'expérimenter le piégeage de masse sur le terrain afin de déterminer le nombre de pièges et la quantité de phéromone nécessaire pour lutter efficacement contre *T. absoluta*. Ensuite, il faut tester au champ la sensibilité de *N. tenuis* aux différents pesticides utilisés au laboratoire afin de confirmer ou d'infirmer leurs effets toxiques sur ce prédateur et les auxiliaires. Enfin, il serait nécessaire d'évaluer la capacité de conservation de *N. tenuis* au champ par l'utilisation de plantes hôtes comme le *S. indicum* et le *G. gynandra*.

Références bibliographiques

- Abbes K., Harbi A., Chermiti B., 2012.** The tomato leafminer *Tuta absoluta* (Meyrick) in Tunisia: current status and management strategies. *EPPO Bull* 42:226–233.
- Abbes A., Chermiti B., 2014.** Propensity of Three Tunisian Populations of the Tomato Leafminer *Tuta absoluta* (Lepidoptera : Gelechiidae) for Deuterotokous Parthenogenetic Reproduction Published By : Entomological Society of Southern Africa. *African Entomology* 22(3): 538–544, 22 538–544.
- Abbes K., Biondi A., Kurtulus A., Ricupero M., Russo A., et al. 2015.** Combined non-target effects of insecticide and high temperature on the parasitoid *Bracon nigricans*. *PLOS ONE* 10:e0138411.
- Abd El-Ghany N.M., Abdel-Razek A.S., Ebadah I.M.A., Mahmoud Y. A., 2016.** Evaluation of some microbial agents, natural and chemical compounds for controlling tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Journal of Plant Protection Research* 56 (4): 372–379.
- Abd El-Ghany N.M., Abdel-Razek A. S., Djelouah K., Moussa A., 2018.** Efficacy of bio-rational insecticides against *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) on tomatoes. *Bioscience Research*, 15 (1), pp. 28-40.
- Aksoy E., Kovanci O., 2016.** Mass trapping low-density populations of *Tuta absoluta* with various types of traps in field-grown tomatoes. – *Jour. of Plant Dis. and Prot.* 123: 51-57.
- Al Eisa Z., Trissi A. N., Khatib F., El Bouhssini M., 2017.** Virulence of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* against the tomato leaf miner *Tuta absoluta* (Meyrick). *Arab Journal of Plant Protection*, 35 (2), pp. 103-109.
- Alam S. B., Amine E., Djabou N., Tabti B., Benyelles G., Costa J., Muselli A., 2017.** Essential Oils as Biocides for the Control of Fungal Infections and Devastating Pest (*Tuta absoluta*) of Tomato (*Lycopersicon esculentum* MILL). *Chem. Biodiversity*, 17, 1–9.
- Al-kazafy H., Sabrya, Hala M., Metwallya. Abolmaaty Shaker M., 2016.** Compatibility and efficacy of entomopathogenic nematode, *Steinernema carpocapsae* all alone and in combination with some insecticides against *Tuta absoluta*. *Der Pharmacia Lettre*, 8 (13):311-315
- Arnó J., Gabarra R., Estopà M., Gorman K., Peterschmitt M., Bonato, Olivier, Vosman, Ben; Hommes, Martin; Garcia A., Ramon, 2009.** Implementation of IPM Programs on European Greenhouse Tomato Production Areas: Tools and Constraints. Edicions I publicacions de la UdL, Lleida, Spain.

- Arvaniti K., Perdikis D., 2016.** Nymphal development on plant vs. leaf with and without prey for two omnivorous predators: *Nesidiocoris tenuis* (Reuter, 1895) (Hemiptera: Miridae) and *Dicyphus errans* (Wolff, 1804) (Hemiptera: Miridae). *Entomologia Generalis*, Vol. 35 (2016), Issue 4, 297–306.
- Aviron S., Poggi S., Varennes Y. D., Lefèvre A., 2016.** Local landscape heterogeneity affects crop colonization by natural enemies of pests in protected horticultural cropping systems. *Agric Ecosyst Environ* 227: 1–10.
- Badaoui M.I., Berkani A. & Lotmani B., 2011.** Les entomopathogènes autochtones, nouvel espoir dans le contrôle biologique de *Tuta absoluta* Meyrick 1917 (Lepidoptera: Gelechiidae) en Algérie, *Entomologie faunistique – Faunistic Entomology* 2011 (2010) 63 (3), 165-169
- Badaoui M. I., 2018.** Contribution à l'étude de la dynamique des populations de *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera ; Gelechiidae) et essais de contrôle biologique sur la culture de tomate ». *Algérienne, République Et, Democratique Abdelhamid, Université Badis, I B N Sciences, D E Docteur E N*, 151 P.
- Bala M., Mishra A., Arshi A., Mishra. P. S., 2019.** Microbe-Based Biopesticide Formulation: A Tool for Crop Protection and Sustainable Agriculture Development. *Microbial Technology for the Welfare of Society*, volume 17(9), 125–145.
- Balzan M. V., Bocci G., Moonen A-C., 2016.** Landscape complexity and field margin vegetation diversity enhance natural enemies and reduce herbivory by Lepidoptera pests on tomato crop. *BioControl*, 61(2), 141–154.
- Barati R., Hejazi M. J., Mohammadi S. A., 2018.** Insecticide susceptibility in *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) and metabolic characterization of resistance to diazinon. *Journal of Economic Entomology*, 20, 1–7.
- Batalla-Carrera L., Morton A., Garcia-del-Pino F., 2010.** Efficacy of entomopathogenic nematodes against the tomato leafminer *Tuta absoluta* in laboratory and greenhouse conditions. *BioControl*, 55(4), 523–530.
- Bazgaou A., Fatnassi H., Bouharroud R., Elame F., Ezzaeri K., Gourdo L., Wifaya A., Demrati H., Tiskatine R., Bekkaoui A., Aharoune A., Bouirden L., 2020.** Performance assessment of combining rock-bed thermal energy storage and water filled passive solar sleeves for heating Canarian greenhouse. *Solar Energy*, 198, pp. 8-24
- Biondi A., Chailleux A., Lambion J., Han P., Zappalà L., Desneux N., 2013a.** Indigenous Natural Enemies Attacking *Tuta absoluta* (Lepidoptera : Gelechiidae) in Southern France. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 23(1), 117–121.
- Biondi A., Zappalà L., Stark J. D., Desneux N., 2013b.** Do biopesticides affect the demographic traits of a parasitoid wasp and its bio- control services through sublethal effects? *PLoS ONE* 8:e76548.

- Biondi A., Guedes R. N. C., Wan F-H., Desneux N., 2018.** Ecology, Worldwide Spread, and Management of the Invasive South American Tomato Pinworm, *Tuta absoluta* : Past, Present, and Future. *Annual Review of Entomology*, 63(1), 239–258.
- Blazhevski S., Kalaitzaki A. P., Tsagkarakis A. E., 2018.** Impact of nitrogen and potassium fertilization regimes on the biology of the tomato leaf miner *Tuta absoluta*. *Entomologia Generalis*, 37(2), 157–174.
- Bleekera P. M., Mirabellaa R., Diergaardeb P. J., VanDoornb A., Tissierc A., Kantd R M., Prinsb M., De Vosb M., Haringa A. M., Schuurinka R. C., 2012.** Improved herbivore resistance in cultivated tomato with the sesquiterpene biosynthetic pathway from a wild relative. *Editorial Board October 11, 2012*
- Bonginkhosi E. D., Nelisiwe D., Michael T. M., Nxumalo K. A., 2020.** Control of the tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) larvae in laboratory using entomopathogenic nematodes from subtropical environment. *Journal of nematology* 52:8P
- Bouagga S., Urbaneja A., Depalo L., Pérez-Hedo M., 2019.** Zoophytophagous predator-induced defenses restrict accumulation of the tomato spotted wilt virus. *Pest Manag Sci*, 76(July), 561–567.
- Bouayad Alam, S., Dib, M.E.A., Djabou, N., Tabti, B., Gaouar Benyelles, N., Costa, J., Muselli, A., 2017.** Essential Oils as Biocides for the Control of Fungal Infections and Devastating Pest (*Tuta absoluta*) of Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Chemistry and Biodiversity*, 14 (7), art. no. e1700065.
- Bravo A., Likitvivatanavong S., Gill S. S., Soberón M., 2011.** *Bacillus thuringiensis*: a story of a successful bioinsecticide. *Insect Biochem Mol Biol* 41:423–431
- Cabello T., Gallego R. J., Vila E., Soler A., Pino del M., Carnero A., Hernandez-Suarez E., Polaszek A., 2009.** Biological control of the South American Tomato Pinworm, *Tuta absoluta* (Lep.: Gelechiidae), with releases of *Trichogramma achaeae* Gelechiidae), with releases of *Trichogramma achaeae*. *Integrated Control in Protected Crops Mediterranean Climate IOBC /Wprs Bulletin*, 49, 225–230.
- Calvo F. J., Soriano J. D., Stansly, P. A., Belda J. E., 2016.** Can the parasitoid *Necremnus tutae* (Hymenoptera: Eulophidae) improve existing biological control of the tomato leafminer *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Bulletin of Entomological Research*, 106, 502–511.
- Campolo O., Cherif A., Ricupero M., Siscaro G., Grissa-lebdi K., Russo A., Cucci, L. M., Pietro, P. Di, Satriano C., Desneux N., Biondi A., Zappalà L., Palmeri V., 2017.** Citrus peel essential oil nanoformulations to control the tomato borer, *Tuta absoluta* : chemical properties and biological activity. *SCientifiC REPORTS*, 7(September), 1–10.

- Campos M. R., Rodrigues A.R.S., Silva, W.M., Silva T.B.M., Silva V.R.F., Guedes R.N.C., Siqueira H.A.A., 2014** Spinosad and the tomato borer *Tuta absoluta*: a bioinsecticide, an invasive pest threat, and high insecticide resistance. *PLoS ONE* 9:e103235
- Campos M. R., Silva T. B. M., Silva W. M., Silva J. E., Siqueira H. A. A., 2015** .Susceptibility of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) Brazilian populations to ryanodine receptor modulators. *Pest Manag Sci* 71:537–544
- Campos M. R., Biondi A., Adiga A., Guedes R.N.C., Desneux N., 2017.** From the Western Palaearctic region to beyond: *Tuta absoluta* ten years after invading Europe. *J. Pest Sci.* 90:787–96.
- Caparros R. M., Haubruge E., Verheggen F. J., 2013.** Pheromone-based management strategies to control the tomato leafminer *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). A review. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2013 17(3), 475-482, 17(3), 475–482.
- Carvalho G.A., Corrêa S. A., de Oliveria L. O., Chediak M., Siqueira H. Á. A., Guedes R.N.C., 2018.** Wolbachia strains, and lack of genetic diversity and parthenogenesis in Brazilian populations of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Journal of Applied Entomology*, 142 (9), pp. 905-910.
- Castañé C., Arnó J., Gabarra R., Alomar O., 2011.** Plant damage to vegetable crops by zoophytophagous mirid predators. *Biol. Control* 59, 22–29.
- Castresana J., Puhl L., 2017.** Comparative study among a variety of solar-powered LED traps to capture tomato leafminers *tuta absoluta* adults by mass trapping in tomato greenhouses in the Province of Entre Ríos, Argentina [Estudio comparativo de diferentes trampas de luz (LEDs) con energía solar para la captura masiva de adultos polilla del tomate *Tuta absoluta* en invernaderos de tomate en la provincia de Entre Ríos, Argentina].
- Chailleux A., Bearez P., Pizzol J., Ramirez-Romero R., Amiens-Desneux E., Desneux N., 2013a.** Potential for combined use of parasitoids and generalist predators for biological control of the key invasive tomato pest *Tuta absoluta*. *J Pest Sci*, 86(4), 533–541.
- Chailleux S., Biondi A., Han P., Tabone E., 2013b.** Suitability of the Pest Plant System *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) Tomato for *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) Parasitoids and Insights for Biological Control. *Entomological Society of America*, 106(6), 2310–2321.
- Chegini S. G., Abbasipour H., 2017.** Chemical composition and insecticidal effects of the essential oil of cardamom, *Elettaria cardamomum* on the tomato leaf miner, *Tuta absoluta* Chemical composition and insecticidal effects of the essential oil of cardamom, *Elettaria cardamomum* on the tom. *Toxin Rev*, 36(1), 12–17.

- Chegini S. G., Abbasipour H., Karimi J., Askarianzadeh A., 2018.** Toxicity of Shirazi thyme, *Zataria multiflora* essential oil to the tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *International Journal OfTropical Insect Science*, 38(4), 340–347.
- Cherif A., Verheggen F., 2019.** A review of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) host plants and their impact on management strategies. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 23(4), 270–278.
- Chermi B., Abbès K., 2012.** Comparison of pheromone lures used in mass trapping to control the tomato leafminer *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) in industrial tomato crops in Kairouan (Tunisia). *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin (2012)* 42 (2), 241–248.
- Chidege M., Hassan N., Abisgold J., Al-Zaidi S., 2018.** Sustainable approach in bio-rational management of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) in Tanzania. *Acta Horticulturae*, 1225, pp. 451-455
- Cocco A., Deliperi S., Delrio. G., 2013.** Control of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) in greenhouse tomato crops using the mating disruption technique. *J. Appl. Entomol.* 137 (2013) 16–28, 137, 16–28.
- Cocco A., Serra G., Lentini A., Deliperi S., Delrio G., 2015.** Spatial distribution and sequential sampling plans for *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) in greenhouse tomato crops. *Pest Manag. Sci.* 71:1311–23.
- Contreras J., Mendoza J. E., Martinez-Aguirre M. R., Garcia- Vidal L., Izquierdo J., Bielza P., 2014.** Efficacy of entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* against *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *J Econ Entomol* 107, 121–124
- Cuthbertson A. G. S., Mathers J. J., Blackburn L. F., Korycinska A, Luo W., 2013.** Population development of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) under simulated UK glasshouse conditions. *Insects* 4:185–97
- D. P. V. C., 2019.** Rapport de prospection phytosanitaire du mois de janvier. 20p.
- Dader B., Colomer I., Adan A., Medina P., Vinuela E., 2019.** Compatibility of early natural enemy introductions in commercial pepper and tomato greenhouses with repeated pesticide applications. *Insect Science*, 1–14.
- Dammak M., Khedher S.B., Boukedi H., Chaib I., Laarif A., Tounsi S., 2016.** Involvement of the processing step in the susceptibility/tolerance of two lepidopteran larvae to *Bacillus thuringiensis* Cry1Aa toxin.
- de Almeida Melo A. L., Soccol V. T., Soccol C. R., 2014.** *Bacillus thuringiensis*: mechanism of action, resistance, and new applications: a review. *Crit Rev Biotechnol* 36:317–326

- Desneux N., Wajnberg E., Wyckhuys K. A. G., Burgio G., Arpaia S., Narváez-Vasquez C. A., González-Cabrera J., Ruescas D. C., Tabone E., Frandon J., Pizzol J., Poncet C., Cabello T., Urbaneja A., 2010.** Biological invasion of European tomato crops by *Tuta absoluta*: Ecology, geographic expansion and prospects for biological control. *Journal of Pest Science*, 83(3), 197–215.
- Desneux N., Luna M.G., Guillemaud T., Urbaneja A., 2011.** The invasive South American tomato pinworm, *Tuta absoluta*, continues to spread in Afro-Eurasia and beyond: The new threat to tomato world production. *Journal of Pest Science*, 84, 403–408.
- Dias D. M., Resende J. T. V., Faria M. V., Camargo L. K. P., Chagas R. R., Lima I. P., 2013.** Selection of processing tomato genotypes with high acyl sugar content that are resistant to the tomato pinworm. *Genet. Mol. Res.* 12:381–89
- Fariba S., Nooryazdan H., Gharati B., Saeidi Z., 2016.** Evaluation of ten tomato cultivars for resistance against tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) under field infestation conditions. *Entomologia Generalis*, Vol. 36, Issue 2, 163–175
- Fernández M^a. del M., Amor F., Bengochea P., Velázquez E., Medina P., Fereres A., Viñuela E., 2012.** Effects of the insecticides methoxyfenozide and abamectin to adults of the whitefly natural enemies *Eretmocerus mundus* (Mercet) (Hymenoptera: Aphelinidae), *Orius laevigatus* (Fieber) (Hemiptera: Anthocoridae) and *Nesidiocoris tenuis* Reuter (Hemiptera: Miridae) under laboratory conditions. *Pesticides and Beneficial Organisms IOBC-WPRS Bulletin* Vol. 82, 2012 pp. 1-7.
- Ferracini C., Bueno V. H. P., Dindo M. L., Ingegno B. L., Luna M. G., Gervasio N. G. S., Sánchez N. E., Lenteren J. C., Van Zappalà L., Tavella L., Ferracini C., Bueno V. H. P., Dindo M. L., Ingegno B. L., Luna M. G., Gervasio N. G. S., Sánchez, N. E., Siscaro G., Van J. C., 2019.** Natural enemies of *Tuta absoluta* in the Mediterranean basin, Europe and South America. *Biocontrol Science and Technology*, 29(6), 578–609.
- Garba M., Gauthier N., Streito J. C., 2020.** First report of three predatory bugs (Heteroptera : Miridae) in tomato fields infested by the invasive South American tomato pinworm, *Tuta absoluta* in Niger : an opportunity for biological control ? *Phytoparasitica*, 15 p.
- Garcia-del-Pino F., Alabern X., Morton A., 2012.** Efficacy of soil treatments of entomopathogenic nematodes against the larvae, pupae and adults of *Tuta absoluta* and their interaction with the insecticides used against this insect. *BioControl* 58:723–731
- Gavkare O., Sharma Lal P., Sanchez J. A., Shah A., M. 2017.** Functional response of *Nesidiocoris tenuis* (Hemiptera : Miridae) to the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae*. *Biocontrol Science and Technology*, 27, NO. 9, 1118–1122.
- Gerling D., Alomar O., Arnò J., 2001.** Biological control of Bemisia tabaci using predators and parasitoids. *Crop Prot* 20:779–799.

- Gharekhani G. H., Salek-Ebrahimi H., 2014.** *Life Table Parameters of Tuta absoluta (Lepidoptera : Gelechiidae) on. 1985, 1765–1770.*
- Giorgini M., Guerrieri E., Cascone P., Gontijo L., 2019.** Current Strategies and Future Outlook for Managing the Neotropical Tomato Pest *Tuta absoluta* (Meyrick) in the Mediterranean Basin *Neotropical Entomology*, 48 (1).
- Giustolin T., Teresinha A., Vendramim J. D., Alves S. B., Vieira Solange A., 2001.** Efeito associado de genótipo de tomateiro resistente e *Bacillus thuringiensis* var. kurstaki sobre o desenvolvimento de *Tuta absoluta* Meyrick (lep., Gelechiidae). *Neotropical Entomology*, 30(3), 461–465.
- Goda N. F., EL-Heneidy H. A., Djelouah K., Hassan N., 2012.** Integrated pest management of the tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (meyrick) (lepidoptera: gelechiidae) in tomato fields in Egypt. *10.7251/AGRENG1607247*, 1631–1639.
- Goda N. F., El-Heneidy, Djelouah A.H., Hassan N., 2015.** Integrated pest management of the tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) in tomato fields in Egypt. *Egyptian Journal of Biological Pest control* 25: 655–661.
- Gonzalez-Cabrera J., Moll´a O., Mont ´on H., Urbaneja A., 2011.** Efficacy of *Bacillus thuringiensis* (Berliner) in controlling the tomato borer, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *BioControl* 56:71–80
- Gourdo L., Fatnassi H., Bouharroud R., Ezzaeri K., Bazgaou A., Wifaya A., Demrati H., Bekkaoui A., Aharoune A., Poncet C., Bouirden, L., 2019.** Heating canarian greenhouse with a passive solar water–sleeve system: Effect on microclimate and tomato crop yield. *Solar Energy*, 188, pp. 1349-1359.
- Grant C., Jacobson R, Llias A., Berger M., Vasakis E., Bielza P., Zimmer C., Williamson S. M., Fffrenc-Constant H. R., Vontas J., Roditakis E., Bass C., 2019.** The evolution of multiple-insecticide resistance in UK populations of tomato leafminer, *Tuta absoluta*, *Pest Manag Sci* 2019; 75: 2079–2085
- Guedes R. N. C., Picanco M. C., 2012.** The tomato borer *Tuta absoluta* in South America : *pest status , management and insecticide resistance.* 42, 211–216.
- Guedes R. N. C., 2016.** Insecticide resistance, control failure likelihood and the First Law of Geography. *Pest Manag Sci*, 73(December), 479–484.
- Guevara E. J., Porcel M., Calixto A. M., Bueno V. D. P., Jr M. A., 2020.** Interactions between the Nematode *Heterorhabditis amazonensis* JPM4 and the Predator *Macrolophus basicornis*: Two Natural Enemies of *Tuta absoluta* Native to South America. *Neotropical Entomology*, 49(1), 108–115.

- Guillemaud T., Blin A., Le Goff I., Desneux N., Reyes M., et al. 2015.** The tomato borer, *Tuta absoluta*, invading the Mediterranean Basin, originates from a single introduction from Central Chile. *Sci. Rep.* 5:8371.
- Haddi K., Berger M., Bielza P., Cifuentes D., Field L. M., Gorman K., Rapisarda C., Williamson M. S., Bass C., 2012.** Identification of mutations associated with pyrethroid resistance in the voltage-gated sodium channel of the tomato leaf miner (*Tuta absoluta*). *Insect Biochem Mol Biol* 42:506–513
- Haddi K., Berger M., Bielza P., Rapisarda C., Williamson M.S., Moores G., Basse C., 2017.** Mutation in the *ace-1* gene of the tomato leaf miner (*Tuta absoluta*) associated with organophosphates resistance. *Journal of Applied Entomology*, 141, 612-619.
- Han P., Lavoit A. V., Le Bot J., Amiens-Desneux E., Desneux N., 2014.** Nitrogen and water availability to tomato plants triggers bottom-up effects on the leafminer *Tuta absoluta*. *Sci. Rep.* 4, 4455 (2014).
- Han P., Wang Z-j., Lavoit A-V., M. T., Seassau A., Zheng W-y., Niu C-y., Desneux N., 2016.** Increased water salinity applied to tomato plants accelerates the development of the leaf miner *Tuta absoluta* through bottom-up effects. *Nature Publishing Group, March*.
- Han P., Desneux N., Becker C., Larbat R., Le Bot J., Stéphane B., Adamowicz S., Zhang J., Lavoit A-V. 2019.** Bottom - up effects of irrigation, fertilization and plant resistance on *Tuta absoluta* : implications for Integrated Pest Management. *Journal of Pest Science*, 92(4), 1359–1370.
- Hughes G. E., Bale J. S., Sterk G., 2009.** Thermal biology and establishment potential in temperate climates of the predatory mirid *Nesidiocoris tenuis*. *BioControl* 54:785–795
- Isman M. B., 2006.** Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Annu Rev Entomol* 51:45–66.
- Jactel H., Verheggen F., Thiéry D., Escobar-Gutiérrez A. J., Gachet E., Desneux, N., Delorme R. F. B., Jean A. M., 2019.** Alternatives to neonicotinoids. *Environment International*, 129(January), 423–429.
- Jallow M. F. A. Dahab A. A., Albaho M. S., Devi V. Y., Jacob J., Al-Saeed O., 2020.** Efficacy of mating disruption compared with chemical insecticides for controlling *Tuta absoluta* (Lepidoptera : Gelechiidae) in Kuwait. *Applied Entomology and Zoology (2020)* 55:213–221, 55(2), 213–221.
- Jamoussi K., Sellami S., Nasfi Z., Krichen-Makni S., Tounsi S., 2013.** Efficiency and midgut histopathological effect of the newly isolated *Bacillus thuringiensis* KS δ -Endotoxins on the emergent pest *Tuta absoluta*. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 23 (8), pp. 1099-1106.

- Kamali S., Karimi J., Koppenhöfer M. A., 2017.** New Insight into the Management of the Tomato Leaf Miner, *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) with Entomopathogenic Nematodes. *Journal of Economic Entomology*, Volume 111, Issue 1, Pages 112–119
- Kerzhner I. M., Josifov M., 1999.** Cimicomorpha II. Miridae. Catalogue of the Heteroptera of the Palaearctic region. *Vol. 3. Netherlands Entomological Society, Amsterdam, pp. 1–577.*
- Kim J. G., Lee W. H., Yu Y. M., Yasunaga C., Jung S. H., 2016** Lifecycle, Biology, and Descriptions of Greenhouse Biological Control Agent, *Nesidiocoris tenuis* (Reuter, 1895) (Hemiptera: Miridae).
- Kim S. Y., Ahn Hee G., Ha P. J., Lim Un T., Lee J-H. 2018.** Journal of Asia-Pacific Entomology Toxicities of 26 pesticides against 10 biological control species. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 21(1), 1–8.
- Klieber J., Reineke A., 2016.** The entomopathogen *Beauveria bassiana* has epiphytic and endophytic activity against the tomato leaf miner *Tuta absoluta*. *Journal of Applied Entomology*, 140(8), 580–589.
- Larbat R., Adamowicz S., Robin C., Han P., Desneux N., Le Bot J., 2016.** Interrelated responses of tomato plants and the leaf miner *Tuta absoluta* to nitrogen supply. *Plant Biology* 18 (2016) 495–504, 18, 495–504.
- Leckie B. M., Halitschke R., De Jong D. M., Smeda J. R., Kessler A., Mutschler M. A., 2014.** Quantitative trait loci regulating the fatty acid profile of acylsugars in tomato. *Mol. Breeding* 34:1201–13
- Leite G. L. D., Picanc M., Guedes R. N. C., Zannuncio J. C., 2001.** Role of plant age in the resistance of *Lycopersicon hirsutum*, f. *glabratum* to the tomato leafminer *Tuta absoluta* (Lepidoptera : *Gelechiidae*). 89, 103–113.
- Lenteren J. C., Van Bueno V. H. P., Burgio G., Lanzoni A., Montes F. C., Silva D. B., Jong P. W. De., Hemerik L., 2019.** Pest kill rate as aggregate evaluation criterion to rank biological control agents : a case study with Neotropical predators of *Tuta absoluta* on tomato. *Bulletin of Entomological Research* 109, 812–820.
- Lietti M. M. M., Botto E., Alzogaray R. A., 2005.** Insecticide resistance in argentine populations of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Neotrop Entomol* 34:113–119.
- Lietti M.M.M., Botto E., Alzogaray R. A., 2005.** Insecticide resistance in Argentine populations of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) | [Resistência a Inseticidas em Populações Argentinas de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae)]. *Neotropical entomology* 34(1):113-119
- Lobos E., Occhionero M., Werenitzky D., Fernandez J., Gonzalez L. M., Rodriguez C., Calvo C., Lopez G., Oehlschlager A. C., 2013.** Optimization of a Trap for *Tuta absoluta* Meyrick

(Lepidoptera : Gelechiidae) and Trials to Determine the Effectiveness of Mass Trapping. *Neotrop Entomol* (2013) 42:448–457, 448–457.

Madbouni Z. M. A., Samih M. A., Qureshi J. A., Biondi A., Namvar P., 2017. Compatibility of insecticides and fungicides with the zoophytophagous mirid predator *Nesidiocoris tenuis*. *PLoS One* 12(11):e0187439.

Mano E., Kambou G., Yaro B., Kini F., Somda I., 2019. Phytochemical composition and biological efficiency of *Cleome viscosa* L. leaves, *Parkia biglobosa* (Jacq.) Br. Ex G. Don pods powders extracts against *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) of tomato. *International Journal of Agricultural Policy and Research Vol.7 (1)*, pp. 10-16.

Mansour R., Brévault T., Chailleux A., Cherif A., Grissa-Lebdi K., Haddi K., Mohamed A. S., Nofemela S. R., Oke A., Sylla S., Tonnang E. Z. H., Zappalà L., Kenis M., Desneux N., Biondi A., 2018. Occurrence, biology, natural enemies and management of *Tuta absoluta* in Africa. *Entomologia Generalis*, 38(2), 83–112.

Martínez-García H., Román-Fernández L. R., Sáenz-Romo M. G., Pérez-Moreno I., Marco-Mancebón V.S., 2016. Optimizing *Nesidiocoris tenuis* (Hemiptera: Miridae) as a biological control agent: mathematical models for predicting its development as a function of temperature. *Bulletin of Entomological Research* 106: 215–224

Martins J. C., Picanco M. C., Bacci L., Guedes R.N.C., Santana P.A. Jr., et al., 2016. Life table determination of thermal requirements of the tomato borer *Tuta absoluta*. *J. Pest Sci.* 89:897–908.

Marzieh A., Mir J. H., Gholamreza N., Ghasem A-S., 2019. Interaction between the entomopathogenic nematode, *Steinernema feltiae* and selected chemical insecticides for management of the tomato leafminer, *Tuta absoluta*. *BioControl* 64:709–721

Meabed H. A. A., Rizk A. M., El Hefnawy N. N., Agamy E. A., 2015. Effects and economics of different treatments against the tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) at harvesting time. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 25 (1), pp. 167-170.

Michaelides G., Sfenthourakis S., Pitsillou M., Seraphides N., 2018. Functional response and multiple predator effects of two generalist predators preying on *Tuta absoluta* eggs. *Pest Management Science*, 74(2), 332–339.

Michereff Filho M., Vilela, E. F., Jham G. N., Attygalle A., Svatoš A., Meinwald J., 2000. Field trapping of tomato moth, *Tuta absoluta* with pheromone traps. *J. Chem. Ecol.*, 26(4), 875-881.

Miller R. J., Gut J. L., 2015. Mating Disruption for the 21 st Century: Matching technology with mechanism. *Environmental Entomology*, 44(3): 427-453.

- Ministère de l'Agriculture et des Aménagement Hydro-agricoles, 2019.** Rapport de l'Enquête maraichère 2018
- Mirhosseini M. A., Fathipour Y., Soufbaf M., Reddy G. V. P., 2020.** Implications of using two natural enemies of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) toward tomato yield enhancement leaf. *Bulletin of Entomological Research* 109, 2019, 617–625.
- Mochiah M., Banful B., Fening K., 2011.** Botanicals for the management of insect pests in organic vegetable production. *J. Entomol. Nematol.*, 3, 85-97.
- Mohammad A., Fathipour Y., Holst N., Soufbaf M., Michaud J. P., 2019.** An egg parasitoid interferes with biological control of tomato leafminer by augmentation of *Nesidiocoris tenuis* (Hemiptera : Miridae). *Biological Control*, 133(August 2018), 34–40.
- Molla´ O., Biondi A., Alonso-Valiente M., Urbaneja A., 2014.** A comparative life history study of two mirid bugs preying on *Tuta absoluta* and *Ephesitia kuehniella* eggs on tomato crops: implications for biological control. *BioControl* 59:175–183
- Nannini M., Manca L., Giorgini M., 2006.** Natural parasitism of *Bemisia tabaci* and *Trialeurodes vaporariorum* in an horticultural area of Sardinia, Italy. *IOBC–WPRS Bull* 29(4):59–64.
- Nauen R., Steinbach D., 2016.** Resistance to diamide insecticides in lepidopteran pests. In: Horowitz AR, Ishaaya I (eds) *Advances in insect control and in resistance management*. Springer, Dordrecht, pp 219–240
- Ndereyimana A., Nyalala S., Murerwa P., Gaidashova S., 2019.** Pathogenicity of some commercial formulations of entomopathogenic fungi on the tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 29(1).
- Never Z., Madundo M., Srinivasan R., Musa C., Patrick A. N., Ernest R. M., 2019.** First record of an entomopathogenic fungus of tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Meyrick) in Tanzania. *Biocontrol Science and Technology*, Pages 626-637
- Osman M., Mohammed A., 2015.** Evaluation of Two Protective Strategies for Controlling the Tomato Leaf miner *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera : Gelechiidae) in Egypt. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 25(1), 2015, 113-120, 25(1), 113–120.
- Ouardi K., Chouibani M., Rahel M. A., Akel. M. El. 2012.** Stratégie nationale de lutte contre la mineuse de la tomate Strate *Tuta absoluta* Meyrick. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin* (2), 281–290, 42, 281–290.
- Paladino C., Leonela Z., Ferrari, María E., Lauría, Juan P., Cagnotti, Cynthia L., Šichová, Jindra; López, Silvia, 2016.** The Effect of X-Rays on Cytological Traits of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae), *Florida Entomologist* Vol. 99, Issue sp1 (Jun 2016), pg(s) 43-53

- Passos L. C., Soares M. A., Collares L. J., Malagoli I., Desneux N., Carvalho G. A., 2018.** Lethal, sublethal and transgenerational effects caused by insecticides on *Macrolophus basicornis*, predator of *Tuta absoluta*. *Entomol Gen* 38:127–143
- Peixoto J.V. M., De Almeida R. S., Da Rocha J. P. R., Maciel G. M., Santos N. C., Pereira L. M., 2019.** Hierarchical and optimization methods for the characterization of tomato genotypes. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 23 (1), pp. 27-32.
- Perdikis D., Fantinou A., Garantonakis N., Kitsis P., Maselou D., Panagakis S., 2009.** Studies on the damage potential of the predator *Nesidiocoris tenuis* on tomato plants. *Bull Insectology* 62:41–46.
- Pereira S.J., Becker W.F., Wamser A.F., Mueller S., Romano F., 2008.** Incidence of adult males of tomato moth in conventional and integrated tomato production systems in Caçador, SC : *Agrop&c. Catarin.*, v.21, n.1 : 66-73.
- Pérez-hedo M., Bouagga S., Jaques J. A., Flors V., Urbaneja A., 2015.** Tomato plant responses to feeding behavior of three zoophytophagous predators (Hemiptera : Miridae). 86, 46–51.
- Pérez-Hedo M., Urbaneja A., 2016.** The zoophytophagous predator *Nesidiocoris tenuis*: a successful but controversial biocontrol agent in tomato crops. In: Horowitz AR, Ishaaya I (eds) *Advances in insect control and resistance management*. Springer, Cham, pp 121–138.
- Pérez-Aguilar D. A., Soares M.A., Passos L. C., Soares A. M., Martinez A. M., Pineda S., Carvalho G. A., 2018.** Lethal and sub-lethal effects of insecticides on *Engytatus varians* (Heteroptera: Miridae), a predator of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Ecotoxicology* 27:1–10.
- Peterson J. A., Ode P. J., Oliveira-Hofman C., Harwood J. D., 2016.** Integration of plant defense traits with biological control of arthropod pests: challenges and opportunities. *Front Plant Sci* 7:1794.
- Pires L. M., Marques E. J., Wanderley-Teixeira V., Teixeira A. A. C., Alves L. C., Alves S. B., 2009.** Ultrastructure of *Tuta absoluta* parasitized eggs and the reproductive potential of females after parasitism by *Metarhizium anisopliae*. *Micron* 40: 255-261
- Pires L., Marques L. M., Edmilson J., Oliveira J. V. De., Alves S. B., 2010.** Seleção de isolados de fungos entomopatogênicos para o controle de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) e sua compatibilidade com alguns inseticidas usados na cultura do tomateiro. *Neotropical Entomology*, 39(6), 977–984.
- Polat B., 2019.** Efficacy of mass trapping of tomato leafminer (*tuta absoluta*) with different types and colours of traps in open- field tomato. *applied ecology and environmental research* 17(6):15721-15730, 17(6), 15721–15730.

- Richardson E. B., Troczka B. J., Gutbrod O., Davies T. G. E., Nauen R. 2020.** Diamide resistance : 10 years of lessons from lepidopteran pests. *Journal of Pest Science*, 93(3), 911–928.
- Roditakis E., Skarmoutsou C., Staurakaki M., 2013.** Toxicity of insecticides to populations of tomato borer *Tuta absoluta* (Meyrick) from Greece. *Pest Management Science*, 69, 834-840.
- Roditakis E., Vasakis E., Grispou M., Stavrakaki M., Nauen R., Gravouil M., Bassi A., 2015.** First report of *Tuta absoluta* resistance to diamide insecticides. *Journal of pest science*, 88:9-16.
- Roditakis E., Vasakis E., García-Vidal L., del Martínez-Aguirre R. M., Rison J. L., Haxaire-Lutun M. O., Nauen R., Tsagkarakou A., Bielza P., 2018.** A four-year survey on insecticide resistance and likelihood of chemical control failure for tomato leaf miner *T. absoluta* in the European/Asian region. *J Pest Sci* 91:421–435.
- Roditakis E., Mavridis K., Riga M., Vasakis E., Morou E., Rison J. L., Vontas J. 2017.** Identification and detection of indoxacarb resistance mutations in the para sodium channel of the tomato leafminer, *T. absoluta*. *Pest Manag Sci* 73:1679–1688
- Rodríguez M. S., Gerding M. P., France A., 2006.** Selección de aislamientos de hongos entomopatógenos para el control de huevos de la polilla del tomate, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Agric Téc (Chile)* 66: 151-158
- Sanchez J. A., Lacasa A., Arnó J., Alomar O., Castanè C., 2009.** Life history parameters for *Nesidiocoris tenuis* (Reuter) (Het. Miridae) under different temperature regimes. *J Appl Entomol* 133:125–132.
- Sawadogo W. M., Verheggen J. F., Somda I., Nacro S., Legrève A., 2020.** Insecticide susceptibility level and control failure likelihood estimation of Sub-Sahara African population of tomato leafminer: Evidence from Burkina Faso.
- Sellami S., Zghal T., Cherif M., Zalila-Kolsi I., Jaoua S., Jamoussi K., 2014.** Screening and identification of a *Bacillus thuringiensis* strain S1/4 with large and efficient insecticidal activities. *Journal of Basic Microbiology*, 53 (6), pp. 539-548.
- Silva G. A., Picanço M.C., Bacci L., Crespo A.L.B., Rosado J. F., Guedes R. N. C., 2011.** Control failure likelihood and spatial dependence of insecticide resistance in the tomato pinworm, *Tuta absoluta*. *Pest Manag Sci* 67:913–920
- Silva T. B. M., Silva W. M., Campos M. R., Silva, J. E., Ribeiro L. M. S., Siqueira H.A.A., 2016.** Susceptibility levels of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) to minor classes of insecticides in Brazil. *Crop Prot* 79:80–86
- Siqueira H. A. A., Guedes R. N. C., Picanço M. C., 2000.** Insecticide resistance in populations of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Agric For Entomol* 2:147–153

- Siqueira H.A. A., Guedes R.N.C., Fragoso D. B., et Magalhaes C., 2001.** Abamectin resistance and synergism in Brazilian populations of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), *International Journal of Pest Management*. 47(4) 247-251.
- Soares M. A., Campos M. R., Passos L. C., Carvalho G. A., Haro M. M., Violette A., Antonio, L., Lucia B., Nicolas Z., 2019.** Botanical insecticide and natural enemies : a potential combination for pest management against *Tuta absoluta*. *Journal of Pest Science*, 92(4), 1433–1443.
- Son D., Bonzi S., Somda I., Bawin T., Boukraa S., Verheggen F., Francis F., Legreve A., Schiffers B., 2017a.** First Record of *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae) in Burkina Faso. *African Entomology*, 25(1), 259.
- Son D., Somda I., Legrève A., Schiffers B., 2017b.** Pratiques phytosanitaires des producteurs de tomates du Burkina Faso et risques pour la santé et l'environnement. *Cahiers Agricultures* 26:25005.
- Sow G., et al., 2015.** The use of *Bacillus thuringiensis* and neem alternation on *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) and its effects on natural enemies in cabbage production. *Acta Hortic.*, 1099, 391-398.
- Suinaga F.A., Casali V.W.D., Picanço M., Foster J., 2004.** Genetic divergence among tomato leafminer populations based on AFLP analysis pesq. *Agropecuária bras, Brasília*, v.39, n.7, p.645-651.
- Sylla S., Brevault T., Bocar Bal A., Chailleux A., Diatte M., et al. 2017.** Rapid spread of the tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Lepidoptera, Gelechiidae), an invasive pest in sub-Saharan Africa. *Entomol. Gen.* 36:269–83.
- Sylla S., Brévault T., Monticelli C. L., Diarra K., Desneux N., 2019.** Geographic variation of host preference by the invasive tomato leafminer *Tuta absoluta*: implications for host range expansion. *Journal of Pest Science* (2019) 92:1387–1396).
- Tabuloc C. A., Lewald, K. M., Conner W. R., Lee Y., Lee E. K., Cain, A. B. , Godfrey K. E., Arnó J., Agustí N., Perini C. R., Guedes J. C., Zalom F. G., Chiu. J. C., 2019.** Sequencing of *Tuta absoluta* genome to develop SNP genotyping assays for species identification. *Journal of Pest Science*, 92(4), 1397–1407
- Tropea Garzia G., Siscaro G., Biondi A., Zappalá L., 2012.** *Tuta absoluta*, a South American pest of tomato now in the EPPO region: biology, distribution and damage. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin*, 42(2): 205-210.
- Urbaneja a., Tapia G., Stansly P., 2005.** Influence of host plant and prey availability on developmental time and survivorship of *Nesidiocoris tenius* (Het.: Miridae). *Biocontr. Sci. Tech- nol.* 15: 513–518

Urbaneja A., Vercher R., Navarro V., Garcia Mari F., Porcuna J. L., 2007. La polilla del tomate, *Tuta absoluta*. *Phytoma Esp.* 194:16–23.

Urbaneja A., Montón H., Mollá O., 2008. Suitability of the tomato borer *Tuta absoluta* as prey for *Macrolophus caliginosus* and *Nesidiocoris tenuis*. *J Appl Entomol* 133:292–296

Urbaneja A., Monton H., Molla O., 2009. Suitability of the tomato borer *Tuta absoluta* as prey for *Macrolophus pygmaeus* and *Nesidiocoris tenuis*. *J Appl Entomol* 133:292–296.

Urbaneja A., Cabrera J. G., Arnó J., Gabarra R., 2012. Prospects for the biological control of *Tuta absoluta* in tomatoes of the Mediterranean basin. *Pest Manag. Sci.*, 68(9): 1215–1222.

- Urbaneja-bernat P., Hedo-Pérez M., Jaques A. J., Flors V., Urbaneja A., 2015.** Defensive plant responses induced by *Nesidiocoris tenuis* (Hemiptera : Miridae) on tomato plants. *J Pest Sci*, 543–554.
- Urbaneja A., Pérez-Hedo M., 2016.** Le prédateur zoophytophage *Nesidiocoris tenuis* : un agent de lutte biologique efficace mais controversé dans la culture de la tomate. *Progrès dans la lutte contre les insectes et la gestion de la résistance* pp 121-138.
- USDA APHIS, 2011.** New pest response guidelines: tomato leafminer (*Tuta absoluta*). Washington, DC: United States Department of Agriculture.
- USDA-APHIS (U.S. Dept. Agric. Anim. Plant Health Insp. Serv.), 2014.** Federal Order for U.S. imports of host materials of tomato leaf miner (*Tuta absoluta*). USDA, Washington, DC, accessed May 30, 2020. <https://www.aphis.usda.gov/aphis/ourfocus/planthealth/import-information/federal-importorders>
- Vacas S., Alfaro C., Primo J., Navarro-Ilopsis V. 2011.** Studies on the development of a mating disruption system to control the tomato leaf miner, *Tuta absoluta* Povolny (Lepidoptera : Gelechiidae). *Pest Manag Sci* 2011; 67: 1473–1480, February, 1473–1480.
- Van Damme V.M., Beck B. K., Berckmoes E., Moerkens R., Wittemans L., De Vis R., Nuyttens D., Casteels H. F., Maes M., Tirry L., De Clercq P., 2016.** Efficacy of entomopathogenic nematodes against larvae of *Tuta absoluta* in the laboratory. *Pest Management Science*, 72 (9), pp. 1702-1709.
- Varshney R, Division of Insect Ecology, ICAR-National Bureau of Agricultural Insect Resources, P.B. No. 2491, H.A Farm Post, Bellary Road, Hebbal , Bangalore - 560024, Karnataka, India., R. Ballal C, Division of Insect Ecology, ICAR-National Bureau of Agricultural Insect Resources, P.B. No. 2491, H.A Farm Post, Bellary Road, Hebbal , Bangalore - 560024, Karnataka, India 2017.** Studies on evaluation of *Nesidiocoris tenuis* (Reuter) (Hemiptera: Miridae) preying on invasive insect pest *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) and its damage to tomato plant. *Journal of Biological Control* 31: 69–73.
- Verheggen F., Fontus R. B., 2019.** First record of *Tuta absoluta* in Haiti. *38*(4), 349–353.
- Wang K., Ferguson G., Shipp J. L., 1997.** Incidence of tomato pinworm, *Keiferia lycopersicella* (Walsingham), (Lepidoptera: Gelechiidae) on greenhouse tomatoes in southern Ontario and its control using mating disruption. *Proceedings - Entomological Society of Ontario*, 128, pp. 93-98.
- Wheeler Jr., A. G., 2000.** Plant bugs (Miridae) as plant pests. In C. W. Schaefer et A. R. Panizzi (Eds.), *Heteroptera of economic importance* (pp. 37–83). Boca Raton: CRC Press.
- Witzgall P., Kirsch P., Cork A., 2010.** Sex Pheromones and Their Impact on Pest Management. *J Chem Ecol* (2010) 36:80–100, 80–100.

- Yagoub G. E. H. I., 2018.** Bio ecological studies of *Tuta absoluta* in Sudan. Thèse de doctorat of philosophy in science with environmental sciences. 163 P.
- Yarou B. B., Bawin T. Boullis A., Heukin S., Lognay, G., Verheggen, F. J., Francis F., 2018.** Oviposition deterrent activity of basil plants and their essential oils against *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Environmental Science and Pollution Research*, 25(30), 29880–29888.
- Yasunaga T., 2000.** An annotated list and descriptions of new taxa of the plant bug subfamily Bryocorinae in Japan (Heteroptera: Miridae). *Biogeography*, 2: 93–102.
- Zappalà L., Biondi A., Alma A., Al-Jboory I. J., Arnò J., Bayram A., Chailleux A., El-Arnaouty A., Gerling D., Guenaoui Y., Shaltiel-Harpaz L., Siscaro G., Stavrinos M., Tavella L., Aznar R. V., Urbaneja A., Desneux N., 2013.** Natural enemies of the South American moth, *Tuta absoluta*, in Europe, North Africa and Middle East, and their potential use in pest control strategies. *Journal of Pest Science*, 86(4): 635–647.
- Zarei E., Fathi S. A. A., Hassanpour M., Golizadeh A., 2019.** Assessment of intercropping tomato and sainfoin for the control of *Tuta absoluta* (Meyrick) (2019) *Crop Protection*, 120, pp. 125-133.
- Zerbo E., 2019.** Evaluation des infestations de la mineuse *Tuta absoluta* meyrick (Lepidoptera : Gelechiidae) en cultures de tomates au Burkina Faso Auteur. *Gembloux Agro-Bio Tech*, 55P.
- Zibae I., Mahmood K., Esmaily M., Bandani A.R., Kristensen, M., 2018.** Organophosphate and pyrethroid resistances in the tomato leaf miner *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) from Iran. *Journal of Applied Entomology* 142:181–191.

Webographie

- Faostat, 2018.** Production de la tomate dans le monde, en Afrique et au Burkina Faso. <http://www.fao.org/faostat/fr/#data/QC>, (22/06/2020).
- CABI, 2020.** Plantwise knowledge bank. Tomato bug (*Nesidicoris tenuis*). <https://www.plantwise.org/knowledgebank/datasheet/16251#DistributionSection> (06/08/2020)

Annexes

Annexe 1 : Classement des alternatives applicables aux Burkina Faso

Code	Technologie	Nom	Indice de classement
A+5	Piégeage de masse	pièges à eau plus une fine couche d'huile de vidange	1,69
A++8	culturelle + prédateur + pièges de masse	Pratiques culturelles + <i>N. tenuis</i> + piégeage de masse	0,83
A+1	Bactérie	<i>Bacillus thuringiensis</i> subsp. kurstaki (Btk)	0,55
A+2	Piégeage de masse	Piège deltas	0,34
A+16	Extrait végétale	d'extraits de feuilles alcoolisées de <i>Copaifera langsdorffii</i> (Caesalpinaceae)	0,34
A++4	piégeage de masse + parasitoïde	Piégeage de masse + <i>Trichogramma bactrae</i>	0,18
A+7	Piégeage de masse	Piège deltas en serre	-0,03
A+9	Piégeage de masse	pièges à phéromone TUA-Optima	-0,17
A+3	phéromone sexuelle	Perturbation d'accouplement	-0,54
A++10	Piégeage de masse + prédateur	pièges à eau plus fine couche d'huile végétale + libération de <i>N. tenuis</i>	-0,54
A++13	Prédateur + parasitoïde	<i>N. tenuis</i> + <i>Trichogramma SP</i>	-0,54
A+18	parasitoïde	<i>Necremnus tutae</i>	-0,54
A+19	prédateur	<i>N. tenuis</i>	-0,54
A++14	Prédateur + parasitoïde	<i>Macrolophus pygmaeus</i> Rambur + <i>Trichogramma sp</i>	-1,04

Annexe 2: Classification pour l'orientation de recherche scientifique sur les alternatives au Burkina Faso

Nom	Indice
pratiques culturelles	1,71
intercallé du sain- foin et de la tomate	1,55
glucosynolates	1,04
<i>Nesidiocoris tenuis</i> + parasitoïde	0,7
<i>trichogramma</i>	0,44
Variétés résistantes	0,37
Emulsion d'écorces d'agrumes	0,37
Extrait aqueux	0,36
extrait alcoolisé de feuilles de <i>Chenopodium ambrosioides</i>	0,31
<i>Necremnus tutae</i>	-0,02
acroissement du niveau de salinisation	-0,14
<i>azadirachtin,</i>	-0,14
<i>E. varians, M. basicornis et C. infumatus</i>	-0,19
irrigation par aspersion et goutte à goutte	-0,19
tomate intercallé au coriandre	-0,19
<i>Heterorhabditis</i>	-0,22
<i>Macrolophus</i>	-0,23
<i>Metarhizium anisopliae</i>	-0,27
variété de tomate	-0,39
<i>Beauveria bassiana</i>	-0,51
<i>Aspergillus oryzae</i>	-0,56
<i>Bracon nigricans</i> Szépliget (Braconidae)	-0,56
<i>Dolichogenidea appellator</i> (Telenga) (Braconidae),	-0,56
<i>Pseudapanteles dignus</i> (Muesebeck) (Hymenoptera: Braconidae),	-0,61
Huile essentielle	-0,76
<i>Encarsia formosa</i> Gahan	-1,12
chauffage des serres	-1,49
<i>Zelus obscuridorsis</i> (Stål, 1860) (Hemiptera : Reduviidae)	-1,49